

**unesp**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de São José do Rio Preto

**Vânia de Araújo Lourençon**

**Influência de Pré-Tratamentos Químicos  
na Cinética de Secagem de Uva Rubi**

**São José do Rio Preto - SP**

**2004**





unesp

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
R. do Matão, 355 - 05508-900 - São Carlos, SP

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - UNESP

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS  
NA DIFUSÃO DE SECAGEM DE UVA ROSA

por  
Rafaela Lourenço  
e  
Mônica de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso  
de Graduação

Curso de Engenharia de Alimentos  
Instituto de Tecnologia de Alimentos



1910001453





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de São José do Rio Preto

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS  
CAMPUS DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS  
NA CINÉTICA DE SECAGEM DE UVA RUBI

## INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS NA CINÉTICA DE SECAGEM DE UVA RUBI

Vânia de Araújo Lourençon  
Engenheira de Alimentos



T. 1453/05

Profª. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis  
Orientadora

Prof. Dr. Javier Telis Romero  
Co-orientador

São José do Rio Preto – SP

2004



**VÂNIA DE ARAÚJO LOURENÇON**

**INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS NA  
CINÉTICA DE SECAGEM DE UVA RUBI**

**COMISSÃO JULGADORA**

**INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS  
NA CINÉTICA DE SECAGEM DE UVA RUBI**

**Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis  
(Presidente e Orientadora – DETA/IBILCE/UNESP)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,  
Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual  
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de São José  
de Rio Preto, para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de  
concentração: Engenharia de Alimentos).

**Prof. Dr. Pedro Fernando Romaneli  
(3º Examinador – DETA/IBILCE/UNESP)**

**Orientadora: Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis  
Co-orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero**

**Prof. Dr. Pedro Fernando Romaneli  
(5º Examinador – DETA/IBILCE/UNESP)**

**São José do Rio Preto – SP**

**2004**



**VÂNIA DE ARAÚJO LOURENÇON**

**INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS NA  
CINÉTICA DE SECAGEM DE UVA RUBI**

**COMISSÃO JULGADORA**

**DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

---

**Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis**  
**(Presidente e Orientadora – DETA/IBILCE/UNESP)**

---

**Profa. Dra. Ana Lúcia Gabas**  
**(2º Examinador – ZEA/FZEA/USP)**

---

**Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira**  
**(3º Examinador – DETA/IBILCE/UNESP)**

---

**Profa. Dra. Patrícia Maria Onofre Colombo Silva**  
**(4º Examinador – UNILAGO)**

---

**Prof. Dr. Pedro Fernando Romanelli**  
**(5º Examinador – DETA/IBILCE/UNESP)**

São José do Rio Preto,      de                      de 2004.



## DADOS CURRICULARES

### VÂNIA DE ARAÚJO LOURENÇON

|             |                                                                                                                                                                                    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NASCIMENTO  | 15/04/1962 – Monte Aprazível – SP                                                                                                                                                  |
| FILIAÇÃO    | Vitório Lourençon<br>Vany Carlos Araújo Lourençon                                                                                                                                  |
| 1980 a 1986 | Curso de Graduação em Ciências e Engenharia de Alimentos – Fundação Educacional de Barretos (FEB), em Barretos - SP.                                                               |
| 2002 a 2004 | Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, nível mestrado, no Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, Campus de São José do Rio Preto – SP. |

Dedico esse trabalho

A meus filhos Lucas, Caio e Luisa,  
pelos laços eternos que nos unem. Sem vocês  
não teria conseguido realizar este sonho.

Em especial a meus pais, Vitório e  
Vany, que sempre almejavam, se esforçaram e  
se orgulharam com o crescimento de seus  
filhos. Obnibada pelos seus exemplos de vida e  
pela confiança que sempre depositaram em  
mim. Meu eterno respeito, admiração e  
gratidão.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo grace da conclusão desta dissertação, pelas bênçãos derramadas e a certeza de nunca estar só, pois com sua permissão todos os contratempos foram superados.

Em especial a Prof. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telle pela dedicação, paciência, orientação nesse projeto, mesmo diante da minha insegurança, tornando-me uma pessoa confiante na trajetória do meu crescimento profissional, a minha eterna gratidão e respeito.

Ao Prof. Dr. Javier Telle Romero pelos seus ensinamentos e motivação em busca de novos desafios, a minha profunda admiração e respeito.

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da UNESP – Campus de São José do Rio Preto, pelo desenvolvimento da parte experimental.

A Comissão Examinadora pelas sugestões e correções pertinentes a dissertação.

Aos professores da pós-graduação que, com paciência, me possibilitaram a visão de novos horizontes.

A Rosemar, chefe da Seção de Pós-Graduação, pelo carinho e atenção.

As estagiárias Erica Machado Santos e Isabella Borin, pela colaboração no decorrer do trabalho.

**Dedico esse trabalho**

Aos Técnicos e Secretária do DETAMBILCE, pela convivência durante esses anos.

**A meus filhos Lucas, Caio e Luísa, pelos laços eternos que nos unem. Sem vocês não teria conseguido realizar esse sonho.**

As amigas Patrícia, Luciana e Nêdo, pelo incentivo e amizade gratificante.

A todos que me apoiaram e me incentivaram, pois todos me ajudaram a superar as dificuldades e a alcançar meus objetivos. A todos que me incentivaram e me ajudaram a superar as dificuldades e a alcançar meus objetivos.

**Em especial a meus pais, Vitório e Vany, que sempre almejaram, se esforçaram e se orgulharam com o crescimento de seus filhos. Obrigada pelos seus exemplos de vida e pela confiança que sempre depositaram em mim. Meu eterno respeito, admiração e gratidão.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da conclusão desta dissertação, pelas bênçãos derramadas e a certeza de nunca estar só, pois com sua permissão todos os contratempos foram superados.

Em especial a Prof. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis pela dedicação, paciência, orientação nesse projeto, mesmo diante da minha insegurança, tornando-me uma pessoa confiante na trajetória do meu crescimento profissional, a minha eterna gratidão e respeito.

Ao Prof. Dr. Javier Telis Romero pelos seus ensinamentos e motivação em busca de novos desafios, a minha profunda admiração e respeito.

Ao Departamento da Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da UNESP – Campus de São José do Rio Preto, pelo desenvolvimento da parte experimental.

À Comissão Examinadora, pelas sugestões e correções pertinentes à dissertação.

Aos professores da pós-graduação que, com paciência, me possibilitaram a visão de novos horizontes.

A Rosemar, chefe da Seção de Pós-Graduação, pelo carinho e atenção.

Às estagiárias Erica Machado Santos e Isabella Borin, pela colaboração no decorrer do projeto.

Aos Técnicos e Secretária do DETA/IBILCE, pela convivência durante esses anos.

Às amigas do curso de pós-graduação: Jacqueline, Fátima, Luciana e Neide, pelo incentivo e amizade gratificante.

A todos que, nos momentos mais difíceis de minha vida, reforçaram com palavras de incentivo e me cercaram de atenção e carinho, ajudando a transpor todos os obstáculos. Muito obrigada!

FERNANDO PESNOA

## SUMÁRIO

Página

|                                                               |      |
|---------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS .....                                        | ix   |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS .....                              | xii  |
| NOMENCLATURA .....                                            | xiii |
| RESUMO .....                                                  | xiii |
| ABSTRACT .....                                                | xiv  |
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....                           | 1    |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                | 8    |
| 2.1. Secagem de Uvas .....                                    | 8    |
| 2.1.1. Pré-tratamentos químicos .....                         | 8    |
| 2.2. Fundamentos da Secagem .....                             | 12   |
| 2.3. Secagem Solar .....                                      | 21   |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                  | 25   |
| 3.1. Matéria-prima .....                                      | 25   |
| 3.2. Pré-tratamentos Químicos .....                           | 25   |
| 3.3. Secagem em Leito Fixo .....                              | 27   |
| 3.4. Equipamentos de Secagem .....                            | 28   |
| 3.4.1. Secador de resistências elétricas .....                | 29   |
| 3.4.2. Secador solar .....                                    | 30   |
| 3.5. Modelamento das Curvas de Secagem .....                  | 32   |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                               | 33   |
| 4.1. Secagem com Ar Aquecido por Resistências Elétricas ..... | 33   |
| 4.2. Secagem Solar .....                                      | 50   |
| 5. CONCLUSÕES .....                                           | 57   |
| 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                     | 59   |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                           | 60   |

Valeu a Pena? Tudo vale a pena  
Se a alma não é pequena.  
Quem quer passar além do Bojador  
Tem que passar além da dor.  
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,  
Mas nele é que se espelhou o céu.

FERNANDO PESSOA

## LISTA DE FIGURAS

## SUMÁRIO

Página  
Página

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS.....                                        | ix   |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS.....                              | xi   |
| NOMENCLATURA.....                                            | xii  |
| RESUMO.....                                                  | xiii |
| ABSTRACT.....                                                | xiv  |
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....                           | 1    |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                | 6    |
| 2.1. Secagem de Uvas.....                                    | 6    |
| 2.1.1. Pré-tratamentos químicos.....                         | 8    |
| 2.2. Fundamentos da Secagem.....                             | 12   |
| 2.3. Secagem Solar.....                                      | 21   |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....                                  | 25   |
| 3.1. Matéria-prima.....                                      | 25   |
| 3.2. Pré-tratamentos Químicos.....                           | 25   |
| 3.3. Secagem em Leito Fixo.....                              | 27   |
| 3.4. Equipamentos de Secagem.....                            | 28   |
| 3.4.1. Secador de resistências elétricas.....                | 28   |
| 3.4.2. Secador solar.....                                    | 30   |
| 3.5. Modelamento das Curvas de Secagem.....                  | 32   |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                               | 33   |
| 4.1. Secagem com Ar Aquecido por Resistências Elétricas..... | 33   |
| 4.2. Secagem Solar.....                                      | 50   |
| 5. CONCLUSÕES.....                                           | 57   |
| 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....                     | 59   |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                           | 60   |

## LISTA DE FIGURAS

### Página

|                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 – (a) Curva de secagem genérica. (b) Curva típica de taxa de secagem.....                                                                                                                                                      | 13 |
| Figura 3.1 – Esquema do secador convectivo com fluxo de ar cruzado (vista lateral).....                                                                                                                                                   | 29 |
| Figura 3.2 – Secador convectivo com fluxo de ar cruzado.....                                                                                                                                                                              | 30 |
| Figura 3.3 – Secador acoplado ao coletor solar.....                                                                                                                                                                                       | 31 |
| Figura 4.1 – Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 4.1, com tempo de imersão de 30 segundos.                                                                              | 35 |
| Figura 4.2 – Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.1, com tempo de imersão de 30 segundos.                                                                                | 37 |
| Figura 4.3 – Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.2, fixando-se a concentração de $K_2CO_3$ em 6%.....                                                                 | 39 |
| Figura 4.4 – Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.2, fixando-se a concentração de $K_2CO_3$ em 6%.....                                                                   | 40 |
| Figura 4.5 – Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.3.....                                                                                                               | 42 |
| Figura 4.6 – Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.3.....                                                                                                                 | 43 |
| Figura 4.7 – Efeito das concentrações de azeite de oliva e de $K_2CO_3$ usadas no pré-tratamento por 30 segundos a $50^\circ C$ sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page..... | 46 |

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.8 – Efeito da concentração de azeite de oliva e duração do pré-tratamento em solução de 6% de $K_2CO_3$ a 50°C sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page..... | 47 |
| Figura 4.9 – Efeito da concentração de lecitina e duração do pré-tratamento a 50°C sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page.....                                      | 48 |
| Figura 4.10 – Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.1, com tempo de imersão de 2 minutos.....                                                                   | 51 |
| Figura 4.11 – Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi, submetida a diferentes pré-tratamentos químicos, durante a secagem solar.....                                                                                    | 53 |
| Figura 4.12 – Histórico de temperaturas e taxa de secagem da uva pré-tratada com 2,5% de azeite de oliva e 6% de $K_2CO_3$ em função do tempo durante a secagem de uva Rubi em secador solar.....                                 | 54 |
| Figura 4.13 – Histórico de umidades relativas e taxa de secagem da uva pré-tratada com 2,5% de azeite de oliva e 6% de $K_2CO_3$ em função do tempo durante a secagem de uva Rubi em secador solar.                               | 55 |



## LISTA DE TABELAS E QUADROS

|                                                                                                                                                                                                                               | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Tabela 3.1 – Valores utilizados no planejamento fatorial $2^2$ com ponto central para análise do efeito das concentrações de azeite de oliva e carbonato de potássio.....                                                     | 26            |
| Tabela 3.2 – Valores utilizados no planejamento fatorial $2^2$ para análise do efeito da concentração de azeite de oliva e tempo de imersão.....                                                                              | 26            |
| Tabela 3.3 – Valores utilizados no planejamento fatorial $2^2$ para análise do efeito da concentração de lecitina de soja e tempo de imersão.....                                                                             | 26            |
| Quadro 4.1 – Condições de pré-tratamentos químicos a base de azeite de oliva e carbonato de potássio testados em trabalhos anteriores.....                                                                                    | 38            |
| Tabela 4.1 – Parâmetros do modelo de Page (equação 2.6) e tempos de secagem necessários para atingir 14% de umidade (base úmida) para uva Rubi submetida a diferentes pré-tratamentos químicos...                             | 45            |
| Tabela 4.2 – Parâmetros do modelo de Page (equação 2.6), ajustado à secagem solar de uvas Rubi submetidas a diferentes pré-tratamentos químicos e tempos de secagem necessários para atingir 14% de umidade (base úmida)..... | 52            |



## NOMENCLATURA

|           |                                                                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{M}$ | Umidade adimensional                                                                             |
| $\lambda$ | Calor latente de vaporização da água, [FLM <sup>-1</sup> ]                                       |
| A         | Parâmetro do modelo de Henderson e Pabis                                                         |
| $D_{ef}$  | Difusividade efetiva, [L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> ]                                          |
| h         | Coeficiente de transferência de calor, [FLT <sup>-1</sup> L <sup>-2</sup> θ <sup>-1</sup> ]      |
| $K^*$     | Pseudo constante de secagem para o modelo de Page, [T <sup>-1</sup> ]                            |
| $k_{HP}$  | Constante de secagem do modelo de Henderson e Pabis, [T <sup>-1</sup> ]                          |
| $k_L$     | Constante de secagem do modelo de Lewis, [T <sup>-1</sup> ]                                      |
| $k_p$     | Constante de secagem do modelo de Page, [T <sup>-1</sup> ]                                       |
| n         | Parâmetro do modelo de Page                                                                      |
| Na        | Fluxo mássico, [MT <sup>-1</sup> L <sup>-2</sup> ]                                               |
| R         | Taxa de secagem, [M <sub>água</sub> M <sub>matéria seca</sub> <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> ]    |
| r         | Raio, [L]                                                                                        |
| t         | Tempo, [T]                                                                                       |
| $T_{ar}$  | Temperatura do ar, [θ]                                                                           |
| $T_{bu}$  | Temperatura de bulbo úmido do ar, [θ]                                                            |
| X         | Umidade em base seca, [M <sub>água</sub> M <sub>matéria seca</sub> <sup>-1</sup> ]               |
| $X_0$     | Umidade inicial em base seca, [M <sub>água</sub> M <sub>matéria seca</sub> <sup>-1</sup> ]       |
| $X_c$     | Umidade crítica em base seca, [M <sub>água</sub> M <sub>matéria seca</sub> <sup>-1</sup> ]       |
| $X_{eq}$  | Umidade de equilíbrio em base seca, [M <sub>água</sub> M <sub>matéria seca</sub> <sup>-1</sup> ] |



## **RESUMO**

As uvas desidratadas, conhecidas como passas, constituem a maior parte das frutas desidratadas produzidas no mundo. Quase toda a uva passa consumida no Brasil é importada, apesar de a produção de uvas de mesa estar aumentando no país. Existe um grande potencial para usar os excedentes de produção ou as frutas fora de padrão para a produção de passas, reduzindo perdas e agregando valor ao produto. Na secagem de uvas, a taxa de difusão de umidade no interior das bagas é controlada pela película cerosa que recobre a casca. A fim de aumentar as taxas de secagem, as uvas são submetidas a pré-tratamentos químicos que consistem na imersão das uvas em emulsões alcalinas de oleato de etila ou - como alternativa mais barata - de azeite de oliva, o qual é rico em ácido oléico. Nosso objetivo foi determinar o pré-tratamento químico mais apropriado a ser utilizado para a secagem de uvas da variedade Rubi. Neste trabalho são apresentadas taxas de secagem em função de pré-tratamentos baseados em várias combinações de carbonato de potássio e azeite de oliva, de acordo com um planejamento fatorial. Além disso, foi investigado o efeito de um novo pré-tratamento, o qual consiste de imergir as uvas em uma suspensão de lecitina de soja. Esse tratamento não-convencional resultou em altas taxas de secagem e uvas passas de boa qualidade, sem o risco de fissuras, comuns no tratamento alcalino.



## **ABSTRACT**

Dried grapes, known as raisins, constitute the major portion of dehydrated fruits produced in the world. Almost all raisin consumed in Brazil is imported, although the production of table grapes has been increasing in the country. There is a great potential to use surplus or out-of-standard fruits to produce raisins, reducing losses and aggregating value to the product. In grape drying, the rate of moisture diffusion through the berries is controlled by the waxy cuticle in the grape skin. In order to increase drying rates, grapes are submitted to chemical pre-treatments that consist of dipping berries in alkaline emulsions of ethyl oleate or - as a less expensive alternative - of olive oil, which is rich in oleic acid. Our objective was to determine the most appropriated chemical pre-treatment to be used to dry grapes of the Rubi variety. We report drying rates as functions of chemical pre-treatments based in several combinations of potassium carbonate and olive oil according a factorial design, as well as present a novel chemical pre-treatment that consists of dipping grapes in a lecithin suspension. This non-conventional treatment resulted in high drying rates and very good quality raisins, with no skin damage and a very attractive appearance.



## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um dos procedimentos mais importantes de conservação de alimentos por diminuição de sua atividade de água ( $a_w$ ) é a desidratação ou secagem. Considerando que a maioria dos produtos vegetais é constituída por mais de 80% de água, o processo de secagem implica em uma considerável redução de custos em transporte e manipulação do produto, além de prover um efetivo método de prolongamento de sua vida útil.

A secagem é, provavelmente, o método mais antigo de preservação de frutas e, originalmente, era utilizado para permitir a estocagem de alimentos para a entressafra. Com o desenvolvimento de novos métodos de preservação e pelo aumento na facilidade de obtenção de frutas frescas nos mercados nos dias atuais, a secagem passou a representar uma alternativa para a obtenção de produtos diversificados, de maior conveniência para o consumidor (Ramos et al., 2004).

As uvas secas, conhecidas como passas, representam a maior parte das frutas secas produzidas no mundo atualmente. Aproximadamente 50% da produção mundial é originária da Califórnia (EUA). Outros países cuja produção de passas é expressiva são: Turquia, Austrália, Grécia, Irã, África do Sul e Espanha (Gabas, 1998). Uvas passas são utilizadas como ingredientes em cereais matinais, produtos de



panificação, doces e confeitos, sorvetes e, mais recentemente, em barras nutricionais.

Praticamente toda a uva passa consumida no Brasil é importada da Califórnia, Argentina e Chile, embora a produção de uvas de mesa venha crescendo constantemente no país, principalmente nas regiões Norte do Paraná, Noroeste de São Paulo, Vale do Rio São Francisco, além de Minas Gerais, na região de Pirapora (Almeida, 2003; Nachtigal, 2003). Isso faz com que exista um grande potencial para o aproveitamento de excedentes de produção e frutas fora do padrão (manchadas, pequenas, etc), que poderiam ser transformados em passas, reduzindo desperdícios e agregando valor ao produto.

A produção de uvas de mesa no Brasil pode ser dividida em dois grupos: um formado pelas uvas finas (*Vitis vinifera*), representadas principalmente por cultivares como a Itália e suas mutações - Rubi, Benitaka e Brasil -, além da Red Globe e algumas variedades sem sementes, e outro formado pelas uvas rústicas (*Vitis labrusca*), cujas representantes mais famosas são a Isabel e a Niágara (Almeida, 2003; Nachtigal, 2003). É interessante destacar que a Embrapa lançou, em dezembro de 2003, três variedades de uva sem sementes – apirênicas – adaptadas ao clima tropical, as quais são ideais para a transformação em passas (Camargo, 2003).

Em geral, as uvas passas ainda são produzidas pelo método tradicional de secagem pela exposição direta ao sol. Entretanto,



esse processo tem diversas desvantagens, tais como longos tempos de secagem, contaminação do produto e perdas devido a condições climáticas adversas. Uma opção seria a utilização de secadores mecânicos que empregassem energia solar. Considerando que o Brasil é um país tropical, com temperaturas elevadas e dias ensolarados em quase todo o ano nas diversas regiões produtoras, a secagem de uvas por este método é uma alternativa com um potencial muito grande, principalmente em se tratando de unidades secadoras de baixo custo, que poderiam ser instaladas em sistema de cooperativa entre vários produtores, próximo às propriedades rurais.

A desidratação de uvas tem sido tema de diversos estudos experimentais. Entretanto, a comparação entre as taxas de secagem obtidas não é de grande utilidade, uma vez que diversos fatores, tais como pré-tratamentos, variedade, origem do produto, safra, etc., têm grande influência sobre esse parâmetro.

As uvas contêm uma membrana cuticular contínua cobrindo a epiderme. Este suporte carrega um filme fino de cera, de natureza hidrofóbica, que estabelece uma barreira efetiva contra a perda de água por parte do fruto. Desta forma, faz-se necessário retirar essa cera ou modificar sua estrutura, tornando-a hidrofílica, com o auxílio de pré-tratamentos químicos, antes de submeter a uva ao processo de secagem (Gabas et al., 1999).



De acordo com Ponting e McBean (1970), os primeiros pré-tratamentos químicos eram baseados na imersão das uvas em misturas de azeite de oliva e cinzas de madeira. Ao longo do tempo, essa mistura foi substituída por uma emulsão composta de 1,5 a 2% de um óleo conhecido como "grape dipping oil" disperso em uma solução aquosa de 2,5% de carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ). A composição desse óleo - comercializado nos países produtores de passas - não é conhecida com exatidão, o que dificulta a sua utilização pelos produtores brasileiros, que dependeriam de sua importação. Dessa forma seria interessante verificar a possibilidade de utilizar substâncias disponíveis no mercado nacional para o pré-tratamento químico das uvas, sendo o azeite de oliva uma das possíveis alternativas.

Outra alternativa seria utilizar um produto com ação surfactante, já que alguns autores afirmam que o efeito das misturas comerciais no aumento das taxas de secagem de uvas é devido aos surfactantes presentes nessas misturas (Grncarevic e Lewis, 1976). Nesse sentido, a lecitina de soja, que é um dos emulsificantes mais utilizados em alimentos, poderia ser testada como substituto aos compostos tradicionalmente usados no pré-tratamento químico de uvas. Além de o Brasil ser um grande produtor de óleo de soja, de cujo processo de refino obtém-se a lecitina como subproduto, trata-se de um composto de origem natural, considerado seguro para utilização em



alimentos, sendo classificado como “GRAS”, ou “generally accepted as safe”, de acordo com o FDA americano.

Com base em tais considerações, os objetivos deste trabalho foram os seguintes:

1) Analisar o efeito de pré-tratamentos químicos utilizando azeite de oliva e carbonato de potássio em diferentes concentrações sobre a cinética de secagem de uva Rubi em um secador de bandejas, aquecido por resistências elétricas.

2) Avaliar o efeito de pré-tratamentos químicos a base de lecitina de soja sobre a cinética de secagem de uva Rubi e comparar com os pré-tratamentos com azeite de oliva e carbonato de potássio.

3) Comparar a cinética de secagem de uva Rubi submetida à pré-tratamentos químicos em secador com ar aquecido por resistências elétricas e em secador acoplado a um coletor solar.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. SECAGEM DE UVAS

As uvas destinadas ao processo de secagem devem estar completamente maduras, para a obtenção de passas de cor e textura satisfatórias. A uva “in natura” possui cerca de 81% de água (base úmida) e, ao final da desidratação, deve atingir de 13 a 15% de umidade (base úmida) (Mark's Fruit Crops, 2004).

De acordo com Fohr e Arnaud (1992), a temperatura do ar de secagem pode variar entre 40 e 70° C, dependendo das condições do secador a ser utilizado. Além disso, a velocidade do ar de secagem, em um secador de leito fixo, por exemplo, pode variar de 0,5 a 1,8 m/s. Com relação ao tempo de secagem, vários fatores podem ter influência, tais como: pré-tratamentos, temperatura, velocidade e umidade do ar, variedade e origem do produto, tipo de secador, etc.

O processo de secagem de uvas para a produção de passas está bastante relacionado à tradição das regiões produtoras e à variedade de uva processada, podendo ocorrer por exposição direta ao sol, secagem à sombra ou por secagem mecânica. No método tradicional de secagem por exposição direta ao sol, os cachos de uvas são espalhados em uma fina camada sobre o solo ou sobre plataformas diretamente expostos ao sol. Este método é o mais barato e empregado com sucesso em diversos países produtores de uvas. Praticamente não



há custo de capital envolvido, apesar de exigir considerável mão-de-obra. O tempo de secagem fica em torno de 8 a 10 dias e existe risco de deterioração devido à poeira e ao ataque de insetos. Além disso, a cor do produto costuma ser prejudicada. Em alguns casos, as uvas são cobertas com um filme transparente, de modo a diminuir os danos devido aos fatores ambientais, como chuva, vento, poeira, etc. Neste caso, o tempo de secagem é geralmente reduzido em um dia e a qualidade das passas é maior (Pangavhane e Sawhney, 2002).

Nos Estados Unidos, os cachos de uvas são depositados sobre folhas de papel entre as próprias linhas de parreiras. Após duas semanas, as uvas parcialmente secas são viradas e deixadas ao sol por mais uma semana, até atingirem cerca de 14% de umidade (base úmida). As passas são, então, enroladas nas próprias bandejas de papel, colocadas em recipientes de madeira e enviadas para as plantas de processamento final – seleção e embalagem (Mark's Fruit Crops, 2004; Pangavhane e Sawhney, 2002).

Outras possibilidades, menos utilizadas na prática, mas possíveis de serem implantadas, são os secadores solares indiretos - onde o produto é colocado em um compartimento fechado com circulação de ar aquecido por radiação solar em um coletor externo (Abene et al., 2004) - ou os secadores de convecção forçada - com ar aquecido pela queima de combustíveis como gás, óleo, ou mesmo lenha (Karathanos e Belessiotis, 1997).



### 2.1.1. Pré-tratamentos químicos

Em uvas frescas, a casca e, especialmente a fina camada de cera que a cobre, constituem uma barreira efetiva contra a desidratação e deterioração de sua textura, além de dificultar o ataque microbiano. Esta constituição da parte externa das uvas é também um problema de grande importância para obtenção de produtos desidratados. Por isso, as uvas devem sofrer um pré-tratamento antes de serem submetidas ao processo de secagem, reduzindo a resistência ao transporte de água (Gabas et al., 1998).

A película de cera que recobre a uva possui em sua composição ésteres de ácidos graxos de alto peso molecular, álcoois, hidrocarbonetos, ácidos graxos livres, álcoois livres, cetonas e aldeídos, constituindo uma estrutura apolar que, ao ser mantida em contato com uma solução básica, sofre uma reação de saponificação, tornando-se polar (Belitz e Grosh, 1985).

Considerando que o processo de secagem de uvas em condições ambientais mediante energia solar, pode levar até três semanas, o risco de alterações e perda da qualidade do produto é alto. Na prática, a eliminação mecânica das cascas das uvas não é fácil, de maneira que diversos tipos de pré-tratamentos químicos buscando acelerar as taxas de secagem são aplicados nos diferentes locais de produção (Pahlavanzadeh et al, 2001; Di Matteo et al., 2000; Gabas et al., 1999).



De acordo com Ponting e McBean (1970), o primeiro tratamento utilizado para reduzir o tempo de secagem durante a produção de passas foi a sua imersão em uma mistura de azeite de oliva e cinzas de madeira. Com o passar do tempo, os produtores australianos passaram a usar uma emulsão comercial, conhecida como “grape dipping oil”, suspensa em uma solução aquosa de 2,5% de carbonato de potássio em concentração de 1,5 a 2%. Essa emulsão consistia de cerca de 70% de ésteres etílicos de ácidos graxos com cadeias de  $C_{16}$  a  $C_{18}$ , ácido oléico livre e emulsificantes. Essa composição, bem como a prática de adicionar carbonato de potássio e banhar as uvas por 3 minutos foi, provavelmente, determinada por tentativa e erro, além de certos hábitos tradicionais. Os componentes ativos da emulsão são os ésteres e o  $K_2CO_3$ , o qual também ajuda na emulsificação por neutralizar o ácido oléico livre formando um sabão (Grncarevic and Lewis, 1976). Embora outros surfactantes tenham sido testados sem sucesso na secagem de uvas (Ponting e McBean, 1970), não foi encontrada nenhuma referência ao uso da lecitina de soja para tal finalidade.

Outro pré-tratamento comumente utilizado consiste em mergulhar as uvas em soluções de NaOH (lixívia). Tradicionalmente tem-se usado um breve tratamento com soluções diluídas de soda cáustica quente, com a desvantagem das fissuras que este pré-tratamento causa na casca, por onde pode ocorrer perda de suco, resultando em um aspecto pegajoso não desejável ao produto (Barnett, 1980).



Bolin e Stafford (1980) realizaram testes para determinar o efeito de diferentes tratamentos na taxa de secagem de uvas e obtiveram bons resultados com uma mistura aquosa de 2% de oleato de metila e 10% de carbonato de potássio. Os mesmos autores verificaram que o carbonato de potássio foi mais efetivo na redução do tempo de secagem que o carbonato de sódio.

Gabas et al. (1999) observaram que o aumento na concentração de oleato de etila entre 0 e 3% em soluções de 2% de carbonato de cálcio levou a maiores taxas de secagem de uvas imersas nessas soluções por 3 min a 50°C, além de que maiores concentrações de oleato de etila resultaram em passas de estrutura menos colapsada.

Uma comparação entre as cinéticas de secagem de uvas pré-tratadas com emulsão comercial (commercial dipping oil) e carbonato de potássio, com oleato de etila e carbonato de potássio, com azeite de oliva e carbonato de potássio, todos em temperatura ambiente, e, finalmente, com uma solução aquecida de hidróxido de sódio, foi realizada por Pangavhane et al. (1999). Os autores concluíram que, sob o ponto de vista do aumento das taxas de secagem, o tratamento mais eficiente foi o que utilizou solução a quente de NaOH, entretanto, a qualidade do produto foi pior em relação aos demais tratamentos. Entre os tratamentos a frio, o que resultou em menor tempo de secagem e passas de melhor aparência foi o que utilizou a emulsão comercial.



Entretanto, Pahlavanzadeh et al. (2001) investigaram pré-tratamentos em soluções de diversas substâncias alcalinas, em diferentes concentrações e temperaturas, com ou sem a adição de azeite de oliva, e concluíram que menores tempos de secagem e passas de melhor qualidade foram obtidos pela imersão das uvas em uma solução de 5% de carbonato de potássio a 42°C. Estes autores também alertam para o fato de que soluções muito alcalinas podem resultar em danos físicos à casca das frutas, provocando a exsudação de material açucarado e o excessivo escurecimento das passas.

Di Matteo et al. (2000) propuseram um tratamento físico, baseado na abrasão superficial da casca das uvas. Esse tratamento foi considerado tão eficiente quanto os tratamentos químicos convencionais para redução do tempo de secagem, mas resultou em passas de cor mais escura. Entretanto, os pesquisadores apontam como aspecto positivo o fato de o método físico não empregar substâncias químicas e, portanto, resultar na produção de passas de consumo mais seguro.

Segundo Femenia et al. (1998), o pré-tratamento não é usado somente para um aumento da taxa de secagem, mas também para preservar as características físicas, químicas, nutricionais e organolépticas do produto seco. O uso de soluções de hidróxido de sódio, ácido cítrico e  $K_2S_2O_5$  nos tratamentos aumenta a taxa de secagem da uva e reduz o escurecimento da fruta durante o armazenamento das uvas.



Entretanto, tais tratamentos têm um importante efeito na composição da parede celular dos tecidos da uva.

## 2.2. FUNDAMENTOS DE SECAGEM

A técnica mais utilizada na desidratação de frutas e hortaliças é a secagem por ar quente, onde o material a ser seco, usualmente na forma de pequenos pedaços ou fatias, é submetido a uma corrente de ar quente paralela ou perpendicular ao leito de sólidos.

A desidratação é uma operação unitária que envolve a transferência simultânea de calor e massa. A transferência de calor, necessária para evaporação da umidade, é geralmente baseada no mecanismo de convecção. Quanto à transferência de massa, existem dois aspectos importantes a ser considerados: o transporte da água no interior do sólido a ser seco até a superfície e a remoção do vapor a partir da mesma. O processo - usualmente representado por uma curva de secagem (Figura 2.1a) e sua correspondente taxa de secagem (Figura 2.1b) - pode ser dividido em quatro fases, descritas abaixo.

**1ª Fase (AB)** – Aquecimento do material até a temperatura de secagem: a elevação da temperatura causa um rápido aumento na taxa de secagem.

**2ª Fase (BC)** – Período de taxa constante: a velocidade de transferência de massa (umidade) no interior do sólido poroso é igual à

velocidade de evaporação da água na sua superfície. Neste período o material permanece na temperatura de bulbo úmido do ar de secagem.

3ª Fase (CD) – Primeiro período de taxa decrescente: a velocidade de transferência de massa no interior do sólido é menor que a taxa de evaporação na superfície. Ocorre a elevação da temperatura do produto. A umidade no ponto C é chamada umidade crítica ( $X_C$ ).

4ª Fase (DE) – Segundo período de taxa decrescente: a velocidade de transferência de massa no interior do sólido diminui ainda mais, até que a umidade do sólido atinja a umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) e a secagem seja interrompida no ponto E.

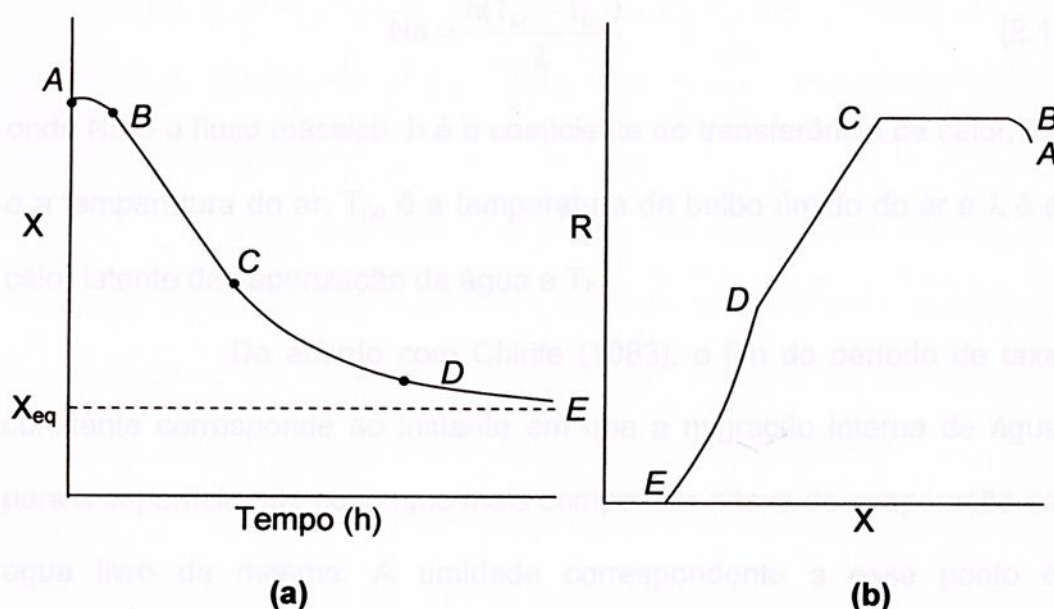


Figura 2.1. (a) Curva de secagem genérica, onde  $X$  é a umidade em base seca (kg água/kg matéria seca) e  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio. (b) Curva típica de taxa de secagem,  $R$  (kg água/kg matéria seca.h). O ponto A indica o início do processo; B marca o início do período de taxa constante; C indica o início do primeiro período de taxa decrescente; D marca o segundo período de taxa decrescente; E corresponde ao equilíbrio com o ar de secagem.

No estudo da secagem, depois da obtenção das curvas e da caracterização dos períodos de secagem, é interessante descrever o processo matematicamente, de forma que as equações obtidas possam ser utilizadas no próprio estudo da cinética de secagem ou em projetos de secadores.

No período de secagem em taxa constante, a água evapora de acordo com o fornecimento de calor para o sólido úmido e, portanto, a transferência de calor gás-sólido controla o processo. Como todo calor transferido é convertido em calor latente, pode-se representar a taxa de secagem da seguinte forma (Nicoletti et al., 2001):

$$Na = \frac{h(T_{ar} - T_{bu})}{\lambda} \quad (2.1)$$

onde  $Na$  é o fluxo mássico,  $h$  é o coeficiente de transferência de calor,  $T_{ar}$  é a temperatura do ar,  $T_{bu}$  é a temperatura de bulbo úmido do ar e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água a  $T_{bu}$ .

De acordo com Chirife (1983), o fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da mesma. A umidade correspondente a esse ponto é denominada “umidade crítica” ( $X_c$ ). Os valores da umidade crítica não são somente característicos de cada material alimentício, mas também dependem de outros fatores, os quais controlam a razão da transferência de umidade interna/externa, tais como, espessura da peça e condições do ar (velocidade, temperatura e umidade relativa).



Na desidratação de frutas e hortaliças, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase, as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda pode conter quantidades significativas de umidade. A partir desse ponto, o processo consome grandes quantidades de energia e os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados devido à elevação da temperatura (Nicoleti et al., 2001).

O período de taxa decrescente, segundo Chirife (1983), se inicia quando a migração interna de umidade passa a controlar o processo. Para a primeira fase do período de taxa decrescente, a migração de água ocorre principalmente por escoamento capilar, difusão de líquido e difusão de vapor, sendo que esses mecanismos podem ocorrer simultaneamente.

Para descrever o processo de secagem no período de taxa decrescente utilizam-se modelos teóricos, semiteóricos e empíricos. Esses modelos são geralmente baseados no fenômeno de transferência de massa, negligenciando-se o efeito de transferência de calor.

De acordo com Daudin (1983), a teoria de migração de água por difusão pode ser escrita exclusivamente com a lei de Fick, expressa em termos do gradiente de umidade, que enfoca principalmente o estudo dos efeitos globais do fenômeno interno, não descrevendo os possíveis mecanismos de migração.



O modelo teórico utilizado para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas é a teoria da difusão da umidade como líquido ou vapor, representada pela equação da difusão, derivada da lei de Fick (Crank, 1975):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D\nabla X) \quad (2.2)$$

onde  $X$  é a umidade em base seca,  $t$  é o tempo e  $D$  é a difusividade.

Como o fenômeno de migração é complexo, trabalha-se com a difusividade efetiva, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas para a equação da difusão, aplicam-se a sólidos de forma geométrica simples e constante ao longo do processo.

Considerando-se que o sólido seja uma esfera homogênea, de difusividade constante, variação do volume desprezível e que o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra também seja desprezível, tem-se a seguinte solução analítica (Crank, 1975):

$$\bar{M} = 6 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2 \pi^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{ef} t}{r^2}\right) \quad (2.3)$$

onde:

$\bar{M}$  - umidade adimensional  $(X - X_{eq}) / (X_0 - X_{eq})$ ;

$X$  - umidade média da partícula (b.s.);

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio (b.s.);

$X_0$  - umidade inicial (b.s.);

$D_{ef}$  - difusividade efetiva;

A maioria dos cereais (arroz, trigo, feijão, soja, etc.) apresentam uma pequena mudança de volume durante a secagem. Desta maneira, a solução analítica pode ser aplicada satisfatoriamente no estudo destes materiais. Para alimentos de alto conteúdo de umidade como a maioria de frutas, a variação de volume é grande e, por esta razão, as soluções analíticas não podem ser aplicadas de forma exata e devem ser consideradas como aproximações da solução real. Diversos autores, como Nicoletti et al. (2001) - secagem de abacaxi fresco e com pré-tratamento osmótico, Hawlader et al. (1991) - secagem de tomates, Murari (2000) - secagem de tomate com e sem tratamento osmótico a utilizaram obtendo bons resultados.

Alguns modelos teóricos e semiempíricos baseados na teoria da difusão de líquido foram estudados por Parti (1998) para descrever a secagem. Dentre eles, um modelo teórico - Newman (equação 2.4) - e dois semiempíricos - Lewis (equação 2.5) e Page (equação 2.6). O modelo de Newman considera ambas as resistências, interna e externa.

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = 6 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi_M^2}{\beta_n^2 (Bi_M^2 - Bi_M + \beta_n^2)} \exp \left[ -\beta_n^2 \frac{D_{ef} t}{r^2} \right] \quad (2.4)$$

Os modelos semiempíricos de Lewis e de Page são baseados na teoria da difusão, assumindo que a resistência ocorre em uma fina camada na superfície das partículas. O modelo de Lewis, análogo à lei de resfriamento de Newton, estabelece que a taxa de

secagem é proporcional ao teor de água livre, sendo normalmente utilizada na sua forma integrada (equação 2.5).

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k_L t) \quad (2.5)$$

onde  $k_L$  é o parâmetro de secagem de Lewis.

A equação (2.5) aproxima-se da solução da equação da difusão (equação 2.3), para tempos de secagem longos, quando apenas o primeiro termo da série for significativo. Esta correlação acaba sub ou super estimando os valores preditos na primeira ou segunda parte da secagem. Sua utilização é indicada para Fourier ( $Fo$ )  $\approx 1$  e Biot de massa ( $Bi_M$ )  $> 100$ .

O modelo de Page (equação 2.6), é uma modificação empírica do modelo de Lewis, sendo freqüentemente usado nos estudos de secagem de produtos agrícolas e alimentos, com excelentes resultados. A utilização de dois parâmetros faz com que sua aplicabilidade seja maior levando a valores estimados mais próximos dos reais.

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k_p t^n) \quad (2.6)$$

onde  $k_p$  e  $n$  são os parâmetros de secagem de Page.

A taxa de secagem para o modelo de Page é dada por:

$$\frac{dX}{dt} = (-k_p n t^{n-1})(X - X_{eq}) \quad (2.7)$$

A partir da eq. (2.7), Parti (1998) define uma constante de secagem ( $k^*$ ), dada pela eq. (2.8), que serve para demonstrar como a utilização de dois parâmetros corrige a deficiência apresentada pela equação de Lewis.

$$k^* = k_p n t^{n-1} \quad (2.8)$$

Se  $n < 1$ ,  $k^*$  diminui durante o processo de secagem, de forma que altos valores de  $k_p$  podem ser utilizados para aproximá-la da equação de Fick nas fases iniciais de secagem sem superestimar os valores preditos nas fases posteriores. Quando  $n = 1$ , a equação se reduz ao modelo de Lewis, aproximando-se da solução da equação da difusividade.

Misra e Brooker (1980) compilaram dados de secagem de milho em camada fina, de nove fontes diferentes, e os ajustaram através do modelo de Page, observando que  $n$  reflete a resistência interna à secagem, enquanto  $k_p$  representa os efeitos das condições externas. Gabas (1998) estudou a influência da temperatura e pré-tratamento químico na secagem de uva da variedade Itália, ajustando a equação de Page aos dados experimentais, a qual representou satisfatoriamente as curvas de secagem. Neste estudo, os resultados mostraram uma dependência linear do parâmetro  $k_p$  com a temperatura do ar de secagem e do parâmetro  $n$  com a concentração de oleato utilizado no pré-tratamento químico das uvas. Doymaz e Pala (2002) e Pangavhane et al. (1999) também utilizaram a equação de Page para modelar a secagem de

uvas submetidas a pré-tratamentos químicos e o ajuste obtido foi satisfatório.

Azzouz et al. (2002) utilizaram o modelo de Page para descrever a cinética de secagem de uvas de duas variedades – cv. Chasselas, da região de Bordeaux, França, e cv. Sultanin, da Tunísia. Os autores concluíram que o parâmetro  $k_p$  foi mais afetado pela temperatura de secagem, enquanto  $n$  foi mais afetado pela velocidade do ar e umidade inicial do produto.

Outros autores, como Panchariya et al. (2002), Yaldiz et al. (2001), Madamba et al. (1996) e Diamante e Munro (1991), compararam diversos modelos de secagem e obtiveram bons resultados para o modelo de Page.

Doymaz (2004) testou um modelo exponencial, dado pela equação (2.9), conhecido como modelo de Henderson e Pabis, para descrever a cinética de secagem de ameixas com e sem pré-tratamento químico. Na equação (2.9),  $A$  e  $k_{HP}$  são parâmetros de ajuste do modelo. A constante  $k_{HP}$  tem sido relacionada à temperatura de secagem (Azzouz et al., 2002).

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = A \exp(-k_{HP}t) \quad (2.9)$$

### 2.3. SECAGEM SOLAR

A utilização de energia solar como fonte alternativa para secagem de produtos agrícolas e alimentares tende a se tornar cada dia mais difundida, já que os combustíveis derivados do petróleo estão se tornando cada vez mais caros e poluem o meio ambiente. Por outro lado, a energia elétrica nem sempre é disponível no meio rural e nos últimos tempos sua geração tem sido deficiente.

A energia solar é uma fonte inesgotável e gratuita de energia, que pode representar a solução para parte dos problemas relacionados à escassez de energia. Em países subdesenvolvidos como o Brasil, ela deve ser aproveitada ao máximo, já que normalmente, esses países apresentam elevadas extensões territoriais e estão situados em zonas tropicais, ou seja, dispõem de alta incidência de radiação, o que torna viável o desenvolvimento de tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia térmica, elétrica, química, mecânica etc.

A secagem solar pode ser realizada de duas maneiras:

- a) Pela exposição direta aos raios solares e às condições atmosféricas;
- b) Pela exposição, em ambientes fechados, ao ar aquecido por um coletor solar.

O primeiro método apresenta uma série de desvantagens, como dependência das condições climáticas, longos tempos de secagem e possibilidade de ataques por insetos. O segundo método apresenta algumas vantagens sobre o anterior, como maiores taxas de secagem,

alta capacidade, uniformidade do produto e menor dependência das condições atmosféricas.

Sistemas que utilizam o ar aquecido por qualquer outra fonte de energia, como elétrica, combustão de biomassa ou derivados do petróleo, também podem ser auxiliados por coletores solares, pois representam economia de energia a um custo relativamente baixo.

O coletor solar é o coração dos sistemas de aquecimento solar. É o responsável pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido na forma de energia térmica. Coletores solares são muito usados no aquecimento de água de casas ou edifícios, na secagem de grãos, na refrigeração de ambientes e em processos industriais de aquecimento. O coletor solar difere do painel fotovoltaico porque utiliza a energia solar para aquecer um fluido e não para gerar eletricidade.

O coletor solar funciona recebendo radiação solar e transferindo-a para a placa absorvedora. O calor é então transportado para o fluido que escoa no interior de dutos em contato com a superfície absorvedora. É necessário, ainda, que se tenha um isolamento térmico na parte inferior do coletor, de modo a minimizar as perdas de calor para o ambiente. A cobertura de vidro permite a entrada de radiação solar e evita que parte do calor da placa absorvedora se perca por convecção, pois o vidro impede a ação do vento, provocando um efeito estufa.

Geralmente os coletores são montados em uma posição fixa com orientação pré-definida, de tal forma que a absorção de radiação



solar seja a melhor possível. Como o Brasil está no hemisfério sul, o coletor solar plano deve estar voltado para o norte, a fim de que haja um melhor aproveitamento da energia solar incidente.

Em secadores solares, antes de entrar em contato com o produto, o ar escoar através do coletor solar por convecção natural ou forçada, onde é aquecido até a temperatura de secagem. A temperatura atingida no secador é, portanto, função não apenas da intensidade da radiação solar, mas também do coeficiente de transferência de calor entre as superfícies do coletor e o ar em escoamento.

Pangavhane e Sawhney (2002) apresentam uma revisão sobre as tendências de desenvolvimento de secadores solares utilizados para a secagem de uvas. Os autores descrevem diversas instalações, típicas de diferentes regiões, incluindo métodos tradicionais ainda em uso. De acordo com sua avaliação técnica e econômica, a secagem solar de uvas é factível, porém ainda existe uma resistência por parte dos produtores em utilizar essa tecnologia, a qual pode ser justificada pela relativamente pequena capacidade dos equipamentos disponíveis, pelo retorno lento do investimento ou por fatores sócio-culturais. Isso demonstra que a pesquisa e o desenvolvimento em torno desse tema devem ser continuados, buscando superar tais fatores de resistência.

O processo de secagem por exposição direta ao sol foi estudado por Toğrul e Pehlivan (2004), que avaliaram cinética de secagem de diversas frutas, incluindo uvas pré-tratadas por 2 minutos em



suspensão de 0,5% de azeite de oliva e 5% de carbonato de potássio. A secagem das uvas foi conduzida com temperatura na faixa de 31 a 43°C e radiação solar variando de 1,10 a 2.93 MJ/m<sup>2</sup>h, ao longo de 5 dias, atingindo umidade final em torno de 15 a 17% (base seca). Os autores testaram vários modelos empíricos para o ajuste das curvas de secagem.

Karathanos e Belessiotis (1997) compararam três métodos de secagem de uvas: secador do tipo industrial, secagem solar por exposição direta e secagem à sombra com circulação livre do ar, avaliando as taxas de secagem nas diferentes condições.

Yaldýz e Ertekýn (2001) avaliaram a secagem solar de vegetais como abóbora, pimentas, feijão e cebola em um secador de bandejas acoplado a um coletor solar e obtiveram tempos totais de secagem variando entre 30 e 90 horas para os diversos vegetais, sendo que a temperatura chegou a um máximo de 46°C.

O desempenho de coletores solares com diferentes tipos de obstáculos para aumentar o tempo de residência do ar e, assim, melhorar a transferência de calor, foi estudado por Abene et al., (2004). Esses autores aplicaram os diferentes coletores para a secagem de uvas e concluíram que o uso de obstáculos foi responsável por uma considerável redução nos tempo de secagem em relação ao coletor com passagem livre.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada foi uvas de mesa (*Vitis vinifera*) cv. Rubi, produzidas na região de Jales-SP, colhidas nas safras de Junho/Novembro de 2002 e Junho/Novembro de 2003. As uvas eram adquiridas no comércio local (São José do Rio Preto – SP), poucas horas antes do processamento, e encontravam-se em seu estágio de maturação completa, com polpa firme, casca verde ou levemente avermelhada. O teor de sólidos solúveis ficou em torno de 15,8° Brix, a umidade em torno de 84% (base úmida).

Em todos os experimentos realizados, as uvas que estavam fora do padrão de maturação, bem como as que apresentavam manchas, doenças e injúrias mecânicas foram descartadas.

#### 3.2. PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS

Os pré-tratamentos químicos consistiram na imersão das uvas – ainda no cacho – em suspensões de azeite de oliva e/ou carbonato de potássio, ou de lecitina de soja, em diversas concentrações. O azeite de oliva era do tipo comercial, o carbonato de potássio era do tipo P.A. e a lecitina era de grau alimentício, não clarificada. Todas as concentrações foram calculadas em porcentagens mássicas.



As Tabelas 3.1 a 3.3 apresentam as variáveis e níveis correspondentes aos planejamentos fatoriais adotados para análise dos efeitos da concentração de azeite de oliva e de carbonato de cálcio, do tempo de imersão e da concentração de lecitina sobre a cinética de secagem da uva. A temperatura das soluções preparadas para os pré-tratamentos químicos foi fixada em 50°C para todos os experimentos.

Tabela 3.1. Valores utilizados no planejamento fatorial  $2^2$  com ponto central para análise do efeito das concentrações de azeite de oliva e carbonato de potássio.

| Variável                           | Nível (-1) | Nível (0) | Nível (+1) |
|------------------------------------|------------|-----------|------------|
| Azeite de oliva (%)                | 0,5        | 1,5       | 2,5        |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (%) | 2          | 4         | 6          |

Tabela 3.2. Valores utilizados no planejamento fatorial  $2^2$  para análise do efeito da concentração de azeite de oliva e tempo de imersão.

| Variável            | Nível (-1) | Nível (+1) |
|---------------------|------------|------------|
| Azeite de oliva (%) | 0,5        | 2,5        |
| Tempo (min)         | 0,5        | 2          |

Tabela 3.3. Valores utilizados no planejamento fatorial  $2^2$  para análise do efeito da concentração de lecitina de soja e tempo de imersão.

| Variável             | Nível (-1) | Nível (+1) |
|----------------------|------------|------------|
| Lecitina de soja (%) | 2          | 4          |
| Tempo (min)          | 2          | 5          |

O preparo das soluções de azeite de oliva e carbonato de potássio era feito da seguinte maneira: dissolvia-se a quantidade desejada de  $K_2CO_3$  em água destilada e aquecia-se em uma chapa aquecedora com agitador magnético até a temperatura de  $50^\circ C$ ; adicionava-se o azeite, sob constante agitação e mergulhava-se o cacho de uvas, suspenso pelo cabo, pelo tempo previamente estipulado.

Para os pré-tratamentos com lecitina de soja, o procedimento foi similar: água destilada era aquecida até  $50^\circ C$  em chapa aquecedora com agitador magnético e a quantidade desejada de lecitina era dispersa sob constante agitação, sendo o cacho mergulhado pelo tempo necessário.

Após a imersão em qualquer uma das soluções, as uvas eram submetidas a um rápido enxágüe em água corrente.

### 3.4. EQUIPAMENTOS

#### 3.3. SECAGEM EM LEITO FIXO

Foram utilizados dois secadores do tipo bandejas, sendo o primeiro com fluxo de ar aquecido por resistências elétricas e o segundo com ar aquecido pela radiação em um coletor solar. Ambos os secadores são descritos em detalhes no item 3.4.

Os experimentos de secagem foram conduzidos em camada fina, sendo as bagas – já separadas dos cachos – dispostas em bandejas de tela metálica, as quais eram introduzidas nos secadores de

modo a receber um fluxo perpendicular de ar. Procedia-se à pesagem periódica das bandejas até que o material atingisse peso constante.

As curvas de secagem eram obtidas a partir dos dados de perda de peso e umidade inicial das amostras, sendo esta última determinada imediatamente após o pré-tratamento químico, pelo método gravimétrico em estufa a vácuo a 60°C por 48 horas.

No secador de resistências elétricas, a temperatura de secagem foi mantida constante em 50°C, de modo a não ser muito mais alta que a temperatura de secagem atingida no secador solar. A velocidade do ar foi mantida em 1 m/s.

### 3.4. EQUIPAMENTOS DE SECAGEM

#### 3.4.1. Secador de Resistências Elétricas

O secador convectivo, aquecido por resistências elétricas, com fluxo de ar cruzado em relação às bandejas de produto (Figuras 3.1 e 3.2) foi construído no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da UNESP – Campus de São José do Rio Preto, já tendo sido utilizado em trabalhos anteriores. Nesse equipamento, o ar é forçado por meio de um ventilador axial, sendo a vazão controlada por um variador de tensão que permite um ajuste fino na mesma. A velocidade do ar é medida por um anemômetro de palhetas. Um conjunto de resistências elétricas é utilizado para o aquecimento, sendo a potência



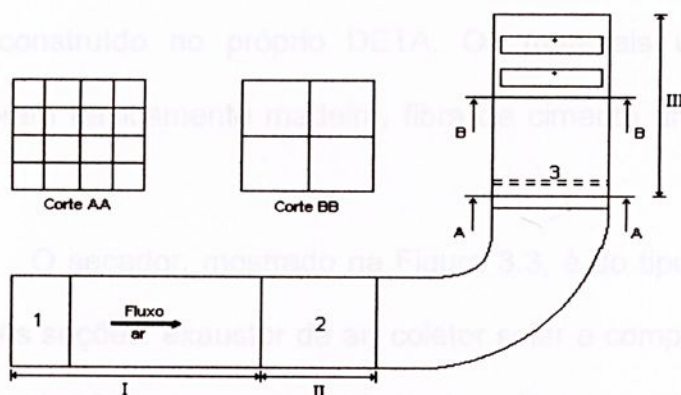
controlada por um variador de tensão que permite um ajuste fino de temperatura. A conexão entre as seções de movimentação e aquecimento do ar com a câmara de secagem é feita por uma curva em ângulo de  $90^\circ$  construída em chapas de aço, fazendo com que o ar escoe perpendicularmente às bandejas de tela de arame galvanizado que suportam o produto. As temperaturas de bulbo seco dentro e fora da câmara de secagem foram determinadas por termo-resistências conectadas a um indicador de temperatura digital (Full Gauge, mod. Penta). A umidade relativa do ar de secagem foi medida com um termo-higrômetro digital (modelo HT-3004, marca Lutron).

### 3.4.2. Secador Solar

O equipamento para as análises de secagem solar

também foi construído no próprio DCTA. O equipamento utilizado na construção foi constituído por uma câmara de secagem solar e aço galvanizado.

O secador montado na Figura 3.1.3. As bandejas e o sistema de aquecimento e movimento do ar são constituídos por uma câmara de secagem solar e aço galvanizado. A câmara de secagem solar é constituída por uma câmara de secagem solar e aço galvanizado. A câmara de secagem solar é constituída por uma câmara de secagem solar e aço galvanizado.



- |                                |                           |                     |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
| I- Seção de velocidade do ar   | 1- Ventilador Centrífugo  | Corte AA - Colméia  |
| II- Seção de aquecimento do ar | 2- Resistências Elétricas | Corte BB - Bandejas |
| III- Compartimento de secagem  | 3- Colméia                |                     |

Figura 3.1: Esquema do secador convectivo com fluxo de ar cruzado (vista lateral).

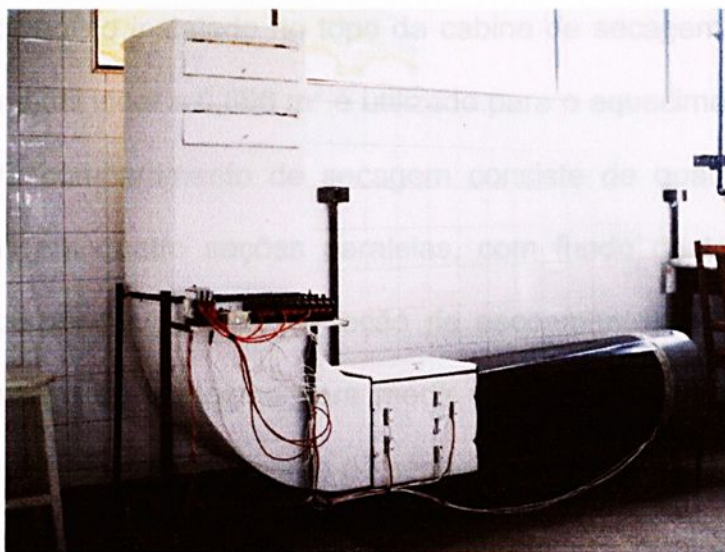


Figura 3.2: Secador convectivo com fluxo de ar cruzado.

### 3.4.2. Secador Solar

O equipamento para os ensaios de secagem solar também foi construído no próprio DETA. Os materiais utilizados na construção foram basicamente madeira, fibra de cimento amianto e aço galvanizado.

O secador, mostrado na Figura 3.3, é do tipo bandejas e consiste de três seções: exaustor de ar, coletor solar e compartimento de secagem. É equipado com uma estação meteorológica portátil e sistema de aquisição de dados (Oregon Scientific, modelo WMR918) que faz o monitoramento das variáveis de processo, como radiação solar, temperatura e velocidade do ar ambiente, umidade relativa, e uma adaptação na câmara de secagem para medidas de temperatura e

velocidade do ar interna. O ar é forçado através do secador por meio de um exaustor eólico instalado no topo da cabine de secagem. Um coletor solar de área útil igual a  $0,896 \text{ m}^2$  é utilizado para o aquecimento do ar de secagem. O compartimento de secagem consiste de quatro bandejas, subdivididas em quatro seções paralelas, com fundo de tela metálica, dispostas perpendicularmente à seção de escoamento do ar. Utiliza-se um anemômetro de ventoinha para medir a vazão do ar na entrada do coletor e, antes do compartimento de secagem existe uma “colméia” para melhor distribuição do ar através das bandejas.



Figura 3.3: Secador acoplado ao coletor solar.

### 3.5. MODELAMENTO DAS CURVAS DE SECAGEM

O modelamento das curvas de secagem foi feito pelo ajuste do modelo de Page (equação 2.6) às curvas de umidade adimensional,  $M = (X - X_{eq}) / (X_0 - X_{eq})$ , em função do tempo. Os ajustes foram obtidos pelo método de regressão não-linear, realizada com o uso do software Microcal Origin v. 3.0. Os valores das umidades de equilíbrio foram tomados com sendo a umidade final das amostras, após atingirem peso constante em cada experimento realizado.

As taxas de secagem foram calculadas pelo ajuste de polinômios às curvas de umidade em função do tempo, os quais eram, então, derivados analiticamente. Para a secagem solar, devido à dificuldade de ajustar adequadamente algum polinômio às curvas de umidade versus tempo, optou-se pelo cálculo da taxa de secagem por derivação numérica das curvas de umidade em função do tempo. A derivação numérica também foi realizada com auxílio do software Microcal Origin v. 3.0.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. SECAGEM COM AR AQUECIDO POR RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS

Foi realizada uma série de experimentos no secador convectivo com ar aquecido por resistências elétricas, com o objetivo de verificar o efeito de diferentes pré-tratamentos químicos sobre a cinética de secagem das uvas da variedade Rubi.

Inicialmente, pretendeu-se otimizar as concentrações de azeite de oliva e de carbonato de potássio, bem como o tempo de pré-tratamento, mantendo-se constante a temperatura do mesmo. O azeite de oliva foi selecionado como uma alternativa de menor custo para substituir o oleato de etila, já testado por Gabas (1998) em uvas da variedade Itália. O azeite também seria uma opção para substituir as emulsões comerciais - "dipping oils" -, não disponíveis no Brasil.

Para uma análise dos efeitos da concentração de azeite de oliva e de carbonato de cálcio sobre a cinética de secagem da uva, foi adotado o planejamento fatorial apresentado na Tabela 3.1. Tomando-se como referência o trabalho de Gabas (1998), o tempo de pré-tratamento foi fixado em 30 segundos. Simultaneamente, uvas sem nenhum pré-tratamento químico também foram submetidas à secagem, de modo a estabelecer parâmetros de comparação. As uvas utilizadas para essa primeira série de experimentos apresentaram umidade inicial de 83,75%



(base úmida) e 14,8° Brix. A umidade relativa do ar de secagem ficou em torno de 15,2%.

A Figura 4.1 mostra as curvas de secagem obtidas para cada pré-tratamento químico, bem como para a uva *in natura*. Os pontos correspondem aos valores experimentais, enquanto as linhas indicam o ajuste do modelo de Page (equação 2.6).

Observa-se que o modelo de Page não foi capaz de representar adequadamente os últimos estágios da secagem, embora os coeficientes de correlação,  $R$ , tenham sempre ficado acima de 0,99. De modo geral, no final da secagem o modelo de Page estima umidades superiores aos valores determinados experimentalmente. No entanto, mesmo com essa falha parcial no ajuste das curvas de secagem, o modelo de Page foi a melhor opção para o modelamento das curvas de secagem, uma vez que a solução analítica da segunda lei de Fick não apresentou melhores resultados, o que provavelmente só seria conseguido com uma solução numérica considerando o encolhimento. Diversos autores também apontam o modelo de Page como boa opção para representar curvas de secagem de uvas de diversas variedades e submetidas a diferentes tratamentos químicos (Azzouz et al., 2002; Doymaz e Pala, 2002; Pangavhane et al., 1999, Gabas, 1998).



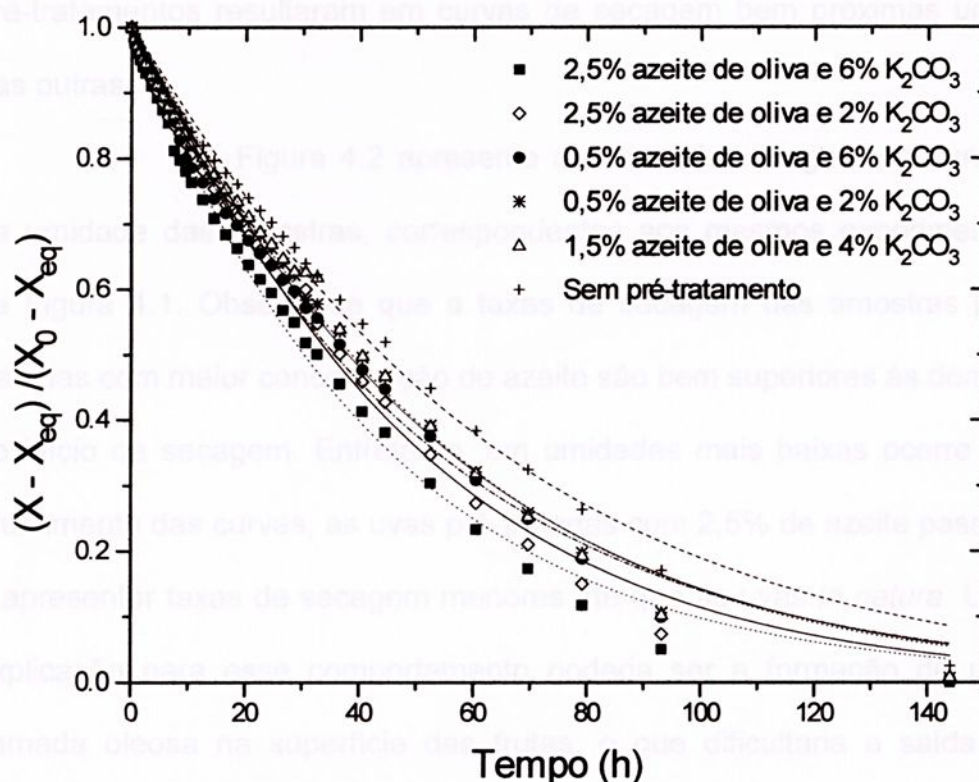


Figura 4.1. Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 4.1, com tempo de imersão de 30 segundos.

Considerando o efeito dos diferentes pré-tratamentos químicos, os resultados mostram que a imersão em suspensões de azeite de oliva e carbonato de potássio é eficiente para acelerar o processo de secagem, uma vez que a umidade das amostras pré-tratadas é sempre menor que a das amostras sem nenhum pré-tratamento químico. Observando-se as curvas de secagem, verifica-se que as menores umidades correspondem ao pré-tratamento com 2,5% de azeite de oliva disperso em uma solução de 6% de carbonato de potássio. Os demais

pré-tratamentos resultaram em curvas de secagem bem próximas umas das outras.

A Figura 4.2 apresenta as taxas de secagem em função da umidade das amostras, correspondentes aos mesmos experimentos da Figura 4.1. Observa-se que a taxas de secagem das amostras pré-tratadas com maior concentração de azeite são bem superiores às demais no início da secagem. Entretanto, em umidades mais baixas ocorre um cruzamento das curvas, as uvas pré-tratadas com 2,5% de azeite passam a apresentar taxas de secagem menores até que as uvas *in natura*. Uma explicação para esse comportamento poderia ser a formação de uma camada oleosa na superfície das frutas, o que dificultaria a saída da umidade de seu interior.

Não foi encontrado nenhum estudo que comparasse o efeito da concentração de azeite sobre a cinética de secagem de uvas. A maioria dos autores compara uma concentração fixa de azeite de oliva com tratamentos a base de oleato de etila ou em soluções alcalinas. Além disso, as concentrações de azeite utilizadas são sempre inferiores a 1%, como mostra o Quadro 4.1, onde são apresentados alguns tratamentos à base de azeite de oliva e carbonato de potássio que já foram testados em trabalhos anteriores.



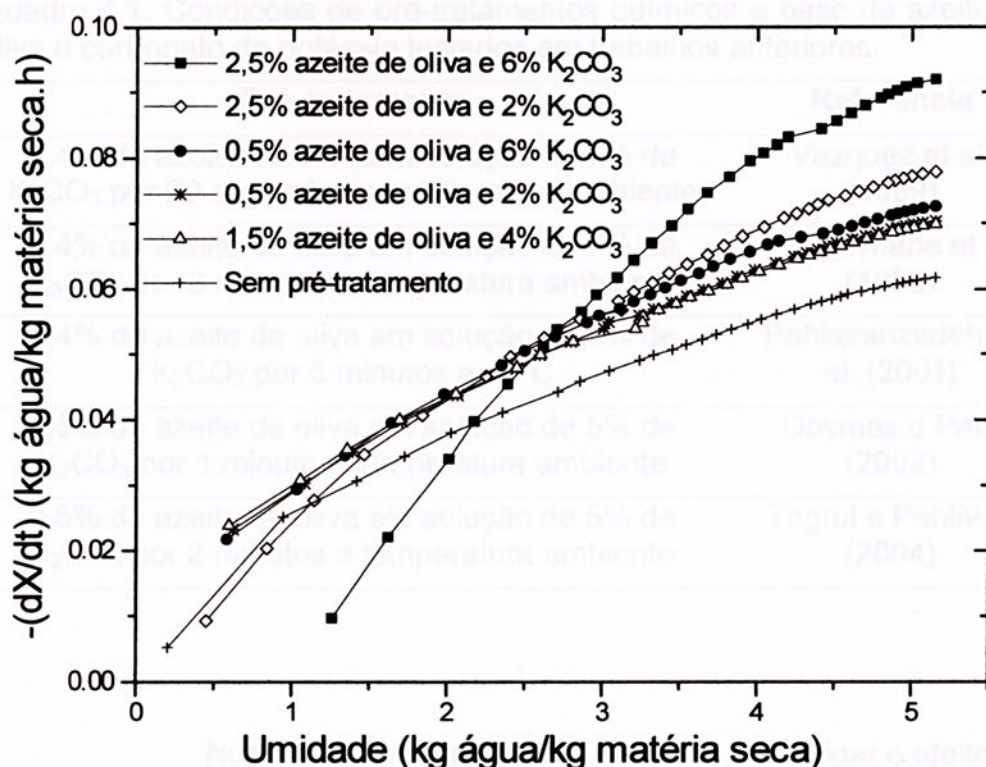


Figura 4.2. Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.1, com tempo de imersão de 30 segundos.

No Quadro 4.1 fica evidente que, enquanto as concentrações de azeite de oliva e carbonato de potássio encontram-se em uma faixa relativamente estreita de variação, o mesmo não acontece em relação ao tempo de pré-tratamento. A discrepância é grande, variando de 20 segundos a 5 minutos.

Quadro 4.1. Condições de pré-tratamentos químicos a base de azeite de oliva e carbonato de potássio testados em trabalhos anteriores.

| Pré-tratamento                                                                               | Referência                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 0,4% de azeite de oliva em solução de 7% de $K_2CO_3$ por 20 segundos a temperatura ambiente | Vazquez et al. (1999)       |
| 0,4% de azeite de oliva em solução de 7% de $K_2CO_3$ por 3 minutos a temperatura ambiente   | Pangavhane et al. (1999)    |
| 0,4% de azeite de oliva em solução de 5% de $K_2CO_3$ por 5 minutos a 42°C                   | Pahlavanzadeh et al. (2001) |
| 0,5% de azeite de oliva em solução de 5% de $K_2CO_3$ por 1 minuto a temperatura ambiente    | Doymaz e Pala (2002)        |
| 0,5% de azeite de oliva em solução de 5% de $K_2CO_3$ por 2 minutos a temperatura ambiente   | Toğrul e Pehlivan (2004)    |

Nosso objetivo seguinte foi, portanto, investigar o efeito do tempo do pré-tratamento químico sobre as taxas de secagem da uva Rubi. Foram realizados novos experimentos, em que o tempo de pré-tratamento foi aumentado de 30 segundos para 2 minutos. Observou-se que esse era o tempo máximo em que as uvas podiam permanecer em contato com a solução alcalina sem sofrer fissuras na casca, o que prejudica a qualidade do produto final. As condições de pré-tratamento utilizadas nessa segunda série de experimentos são mostradas na Tabela 3.2, tendo sido fixada a concentração de carbonato de potássio em 6%. Também foi realizado um experimento de secagem de uvas pré-tratadas apenas com carbonato de potássio, com o objetivo de verificar se a presença do azeite é realmente importante ou decorre apenas da tradição. As uvas utilizadas apresentaram umidade inicial de 81,7% (base

úmida) e 15,7° Brix. A secagem foi conduzida com umidade relativa em torno de 15,4%.

A Figura 4.3 mostra os resultados dessa segunda série de experimentos, sendo também incluídas as curvas correspondentes ao ajuste do modelo de Page. Observa-se que os ajustes do modelo foram melhores nas curvas de secagem da uva pré-tratada por maior tempo (2 minutos), mesmo assim, ainda existe um pequeno desvio dos dados experimentais na região de baixa umidade.

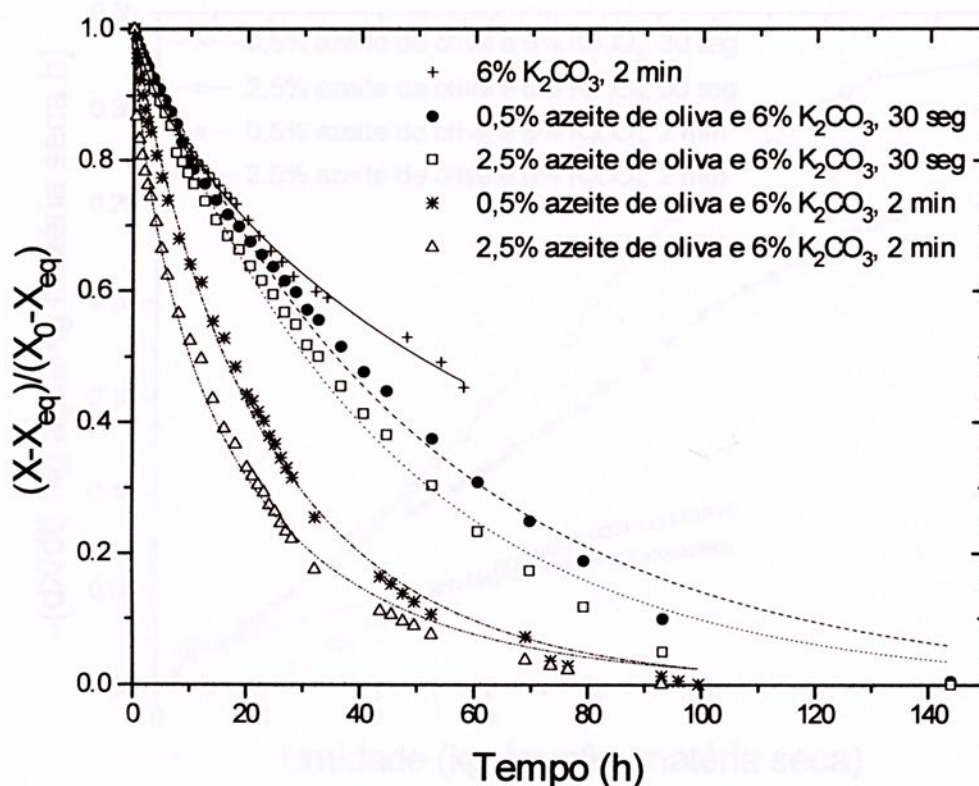


Figura 4.3. Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.2, fixando-se a concentração de  $K_2CO_3$  em 6%.

Fica evidente, na Figura 4.3, que o azeite de oliva desempenha um papel importante para tornar a secagem mais rápida, pois o pré-tratamento feito apenas com a solução de carbonato de potássio não se mostrou efetivo no aumento da velocidade de secagem.

Por outro lado, o aumento da duração do pré-tratamento com azeite e carbonato resultou numa grande elevação das taxas de secagem, o que pode ser visto com clareza também na Figura 4.4, que ilustra as taxas de secagem em função da umidade das amostras.

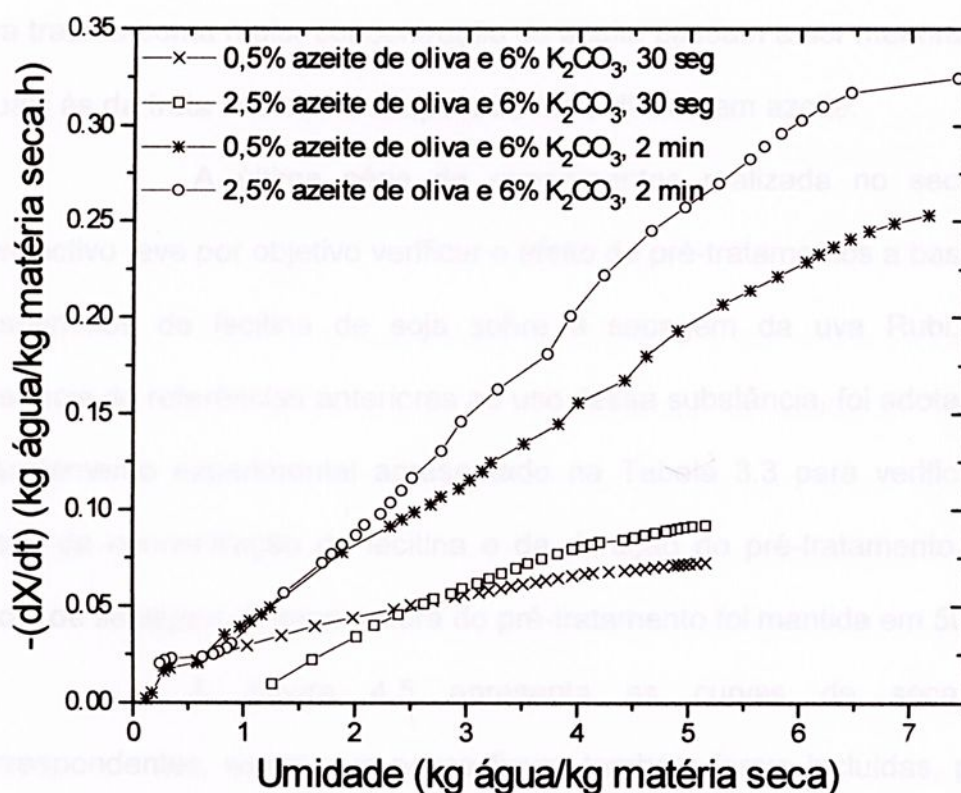


Figura 4.4. Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.2, fixando-se a concentração de  $K_2CO_3$  em 6%.

O pré-tratamento com 2,5% de azeite de oliva e 6% de carbonato de potássio com duração de 2 minutos conduziu a taxas de secagem muito elevadas no início da secagem, inclusive com um pequeno período de taxa constante, o que não se observou nas demais condições. A existência desse pequeno período de taxa constante poderia ser um indicativo da ocorrência de fissuras na casca da fruta, o que facilitaria a exsudação de suco e favoreceria uma secagem inicial muito rápida. Porém, como já havia sido verificado na Figura 4.2, em umidades mais baixas as curvas correspondentes às concentrações de 0,5 e 2,5% de azeite sofrem uma interseção, de modo que as taxas de secagem da uva tratada com a maior concentração de azeite passam a ser menores ou iguais às da fruta imersa na suspensão mais diluída em azeite.

A última série de experimentos realizada no secador convectivo teve por objetivo verificar o efeito de pré-tratamentos a base de suspensões de lecitina de soja sobre a secagem da uva Rubi. Na ausência de referências anteriores ao uso dessa substância, foi adotado o planejamento experimental apresentado na Tabela 3.3 para verificar o efeito da concentração de lecitina e da duração do pré-tratamento nas taxas de secagem. A temperatura do pré-tratamento foi mantida em 50°C.

A Figura 4.5 apresenta as curvas de secagem correspondentes, sendo que nessa figura também foram incluídas, para comparação, as curvas de secagem da uva *in natura* e pré-tratada com 2,5% de azeite de oliva e 6% de carbonato de potássio por 2 minutos.



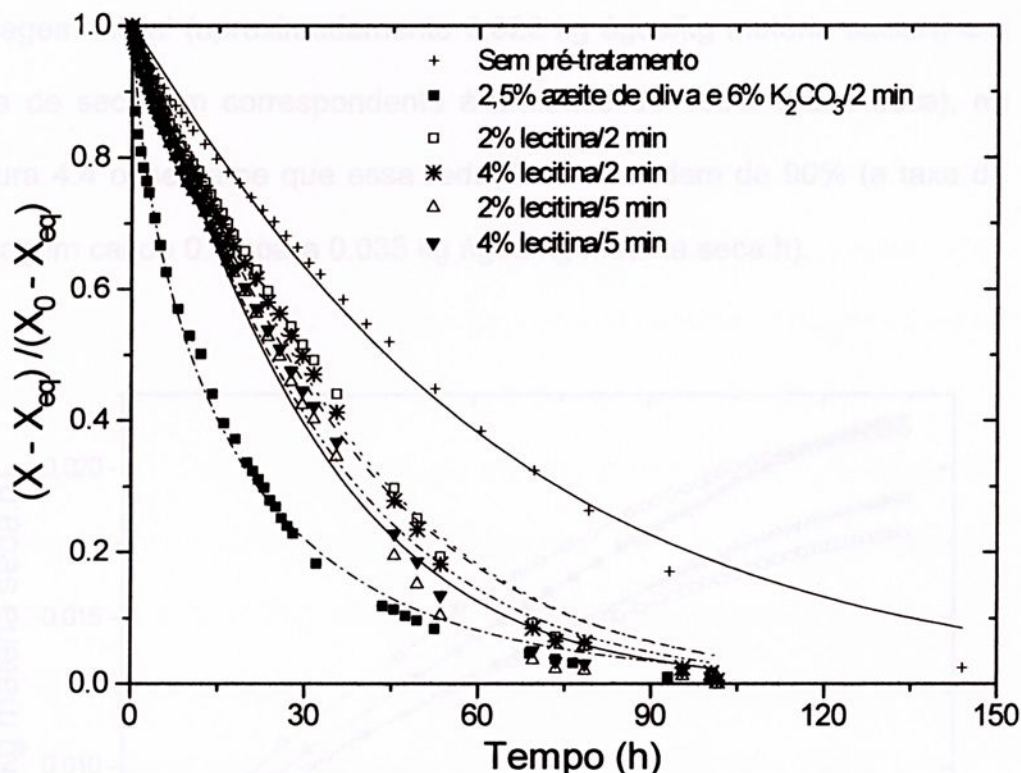


Figura 4.5. Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.3.

À primeira vista, observa-se que os tratamentos a base de lecitina foram efetivos no aumento da velocidade de secagem, porém seriam menos eficientes que o tratamento tradicional com azeite de oliva em solução alcalina. Entretanto, o formato das curvas de secagem é bem diferente: enquanto o tratamento tradicional resulta em taxas de secagem muito elevadas no início do processo, mas que caem rapidamente à medida em que a umidade diminui, os tratamentos com lecitina não apresentam um decréscimo tão drástico dessas taxas. A Figura 4.6 mostra que existe uma redução de aproximadamente 45% entre a taxa de

secagem inicial (aproximadamente 0,022 kg água/kg matéria seca.h) e a taxa de secagem correspondente à umidade de 100% (base seca), na Figura 4.4 observa-se que essa redução é da ordem de 90% (a taxa de secagem cai de 0.35 para 0.035 kg água/kg matéria seca.h).

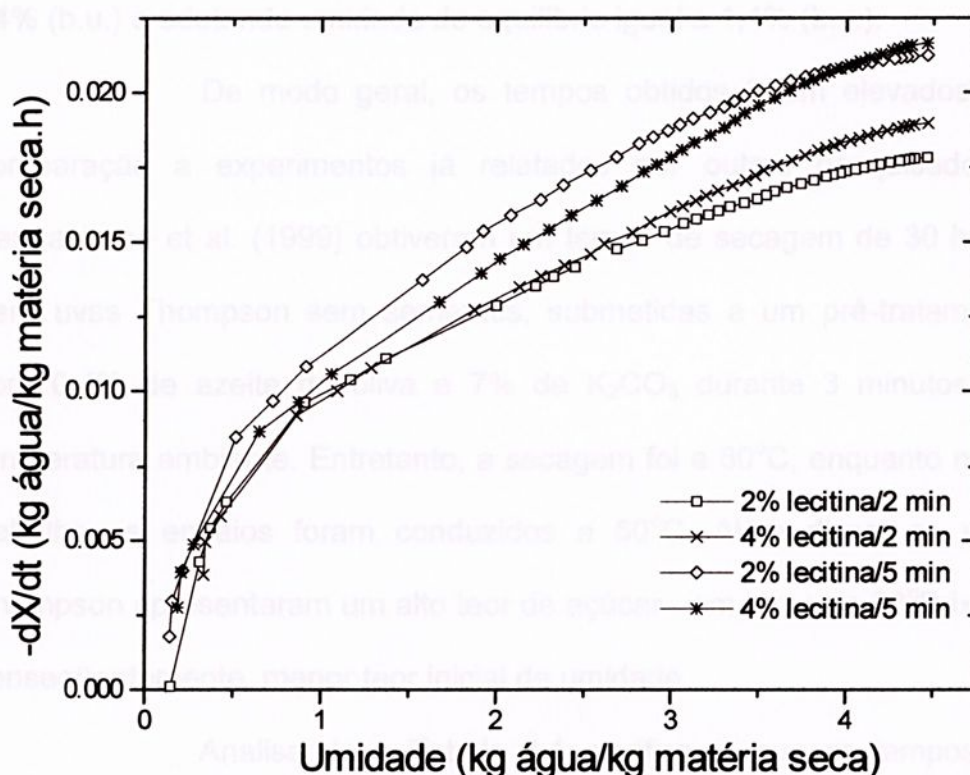


Figura 4.6. Taxas de secagem em função da umidade de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.3.

Uma outra forma de analisar os resultados obtidos, é através de uma estimativa do tempo de secagem necessário para que as uvas submetidas aos diferentes pré-tratamentos atinjam a umidade recomendada para seu armazenamento e comercialização, que fica em

torno de 14% (Pangavhane e Sawhney, 2002). A Tabela 4.1 apresenta uma estimativa dos tempos de secagem, feita com base no modelo de Page ajustado às diversas curvas de secagem obtidas. Na tabela foram incluídos os parâmetros de ajuste do modelo para permitir a reprodução do cálculo. Os cálculos foram feitos partindo-se de uma umidade inicial de 84% (b.u.) e adotando umidade de equilíbrio igual a 1,4% (b.u.).

De modo geral, os tempos obtidos foram elevados em comparação a experimentos já relatados por outros pesquisadores. Pangavhane et al. (1999) obtiveram um tempo de secagem de 30 horas para uvas Thompson sem sementes, submetidas a um pré-tratamento com 0,4% de azeite de oliva e 7% de  $K_2CO_3$  durante 3 minutos em temperatura ambiente. Entretanto, a secagem foi a 60°C, enquanto neste trabalho os ensaios foram conduzidos a 50°C. Além disso, as uvas Thompson apresentaram um alto teor de açúcar - em torno de 23°Brix - e, conseqüentemente, menor teor inicial de umidade.

Analisando a Tabela 4.1, verifica-se que os tempos de secagem obtidos com os pré-tratamentos por imersão durante 2 minutos em emulsão de azeite de oliva (0,5 ou 2,5%) em solução de 6% de carbonato de potássio e com o pré-tratamento por imersão durante 5 minutos em suspensão de 2% de lecitina ficaram na faixa de 93,3 a 96 horas. Pode-se concluir que esses tratamentos são equivalentes no sentido de reduzir o tempo de secagem da uva *in natura*, que foi de aproximadamente 205 horas, isto é, mais que o dobro.



Tabela 4.1. Parâmetros do modelo de Page (equação 2.6) e tempos de secagem necessários para atingir 14% de umidade (base úmida) para uva Rubi submetida a diferentes pré-tratamentos químicos.

| Pré-tratamento                                    | Tempo de secagem*<br>(h) | Parâmetros do modelo de Page |       |
|---------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------|
|                                                   |                          | $k_p$ ( $h^{-1}$ )           | n     |
| Sem pré-tratamento                                | 204,6                    | 0,0122                       | 1,067 |
| 2,5% azeite de oliva e 6% $K_2CO_3$ / 30 segundos | 152,7                    | 0,0221                       | 1,011 |
| 2,5% azeite de oliva e 2% $K_2CO_3$ / 30 segundos | 158,0                    | 0,0149                       | 1,082 |
| 0,5% azeite de oliva e 6% $K_2CO_3$ / 30 segundos | 180,1                    | 0,0188                       | 1,010 |
| 0,5% azeite de oliva e 2% $K_2CO_3$ / 30 segundos | 176,3                    | 0,0143                       | 1,067 |
| 1,5% azeite de oliva e 4% $K_2CO_3$ / 30 segundos | 172,2                    | 0,0127                       | 1,095 |
| 0,5% azeite de oliva e 6% $K_2CO_3$ / 2 minutos   | 95,0                     | 0,0533                       | 0,923 |
| 2,5% azeite de oliva e 6% $K_2CO_3$ / 2 minutos   | 93,3                     | 0,1277                       | 0,734 |
| 6% $K_2CO_3$ / 2 minutos                          | 447,9                    | 0,0373                       | 0,747 |
| 2% lecitina / 2 minutos                           | 112,3                    | 0,0137                       | 1,178 |
| 4% lecitina / 2 minutos                           | 113,1                    | 0,0165                       | 1,137 |
| 2% lecitina / 5 minutos                           | 96,0                     | 0,0189                       | 1,148 |
| 4% lecitina / 5 minutos                           | 103,5                    | 0,0204                       | 1,113 |

\*Tempos de secagem estimados pela equação (2.6) usando os parâmetros  $k_p$  e n apresentados na Tabela 4.1, partindo de umidade inicial de 84% (b.u.) e adotando umidade de equilíbrio igual a 1,4% (b.u.).

Figura 4.7. Efeito das concentrações de azeite de oliva e de  $K_2CO_3$  usadas no pré-tratamento por 30 segundos a 50°C sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page.

Utilizando-se o programa Statistica v. 5.0, foi possível avaliar estatisticamente o efeito das variáveis dos pré-tratamentos sobre o tempo de secagem da uva Rubi. A Figura 4.7 mostra o efeito das concentrações de azeite de oliva e de  $K_2CO_3$  usadas no pré-tratamento por 30 segundos. A análise estatística mostrou que o efeito da concentração de azeite de oliva foi significativo a 5% ( $p < 0,05$ ), enquanto o gráfico de superfície indica claramente que o aumento da concentração de azeite diminui o tempo de secagem. Ao mesmo tempo, a concentração de  $K_2CO_3$  não teve efeito significativo sobre o tempo de secagem quando o tempo de imersão foi de apenas 30 segundos.

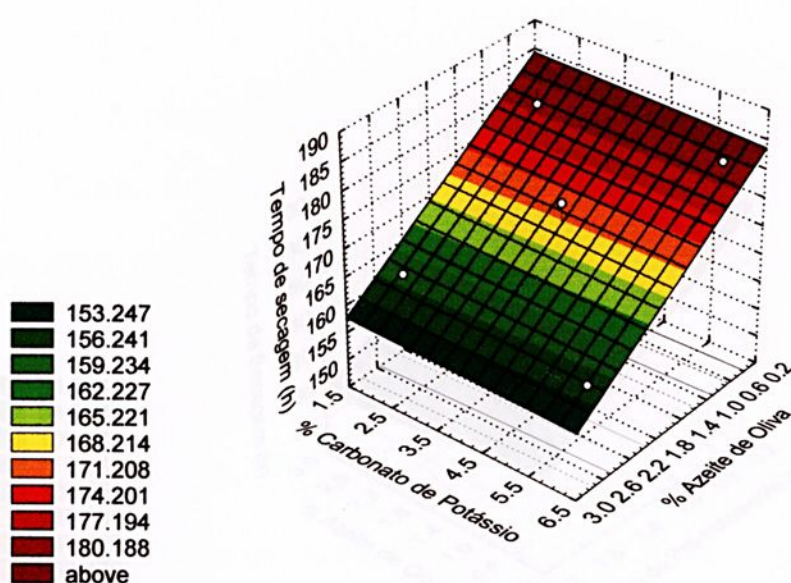


Figura 4.7. Efeito das concentrações de azeite de oliva e de  $K_2CO_3$  usadas no pré-tratamento por 30 segundos a 50°C sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page.

Por outro lado, mantendo-se a concentração de  $K_2CO_3$  constante e avaliando-se o efeito da duração do pré-tratamento e da concentração de azeite de oliva, observa-se (Figura 4.8) que o aumento do tempo de imersão das uvas na emulsão alcalina favorece a redução do tempo de secagem.

Na Figura 4.9 é possível avaliar o efeito da concentração de lecitina e da duração do pré-tratamento sobre o tempo de secagem. A análise estatística mostrou que, embora nenhuma das variáveis consideradas tenha apresentado efeito significativo ao nível de 5%, o efeito da duração do pré-tratamento é maior do que o da concentração de lecitina.

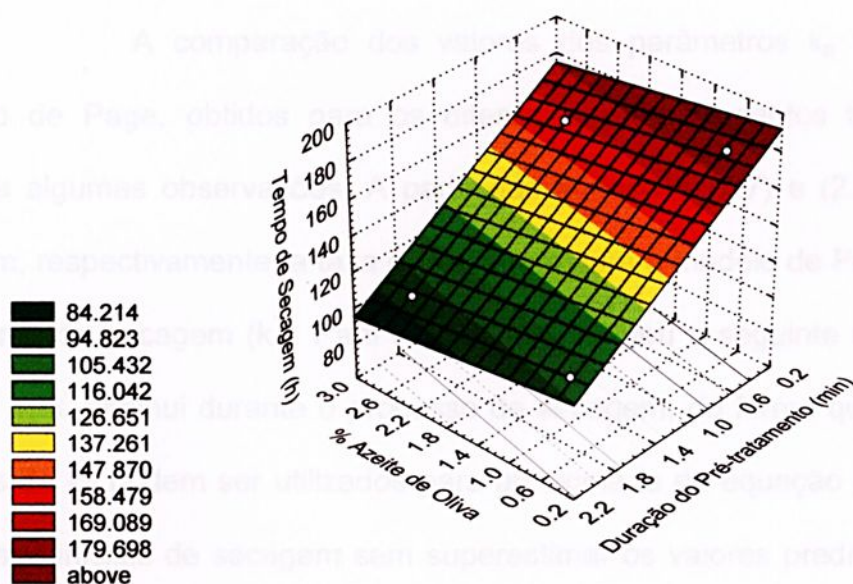


Figura 4.8. Efeito da concentração de azeite de oliva e duração do pré-tratamento em solução de 6% de  $K_2CO_3$  a  $50^\circ C$  sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page.

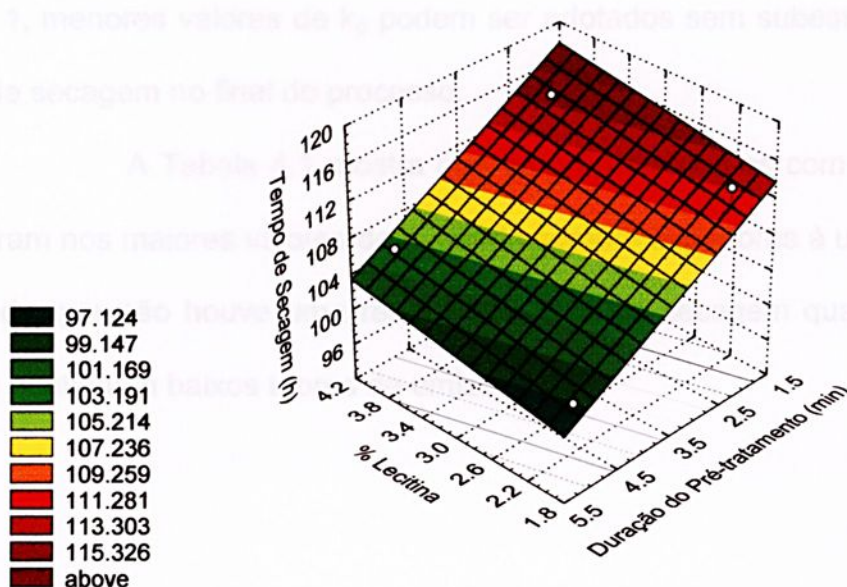


Figura 4.9. Efeito da concentração de lecitina e duração do pré-tratamento a 50°C sobre o tempo de secagem necessário para atingir 14% de umidade (b.u.), estimado pelo modelo de Page.

A comparação dos valores dos parâmetros  $k_p$  e  $n$  do modelo de Page, obtidos para os diferentes pré-tratamentos também permite algumas observações. A partir das equações (2.7) e (2.8), que definem, respectivamente, a taxa de secagem para o modelo de Page e a constante de secagem ( $k^*$ ), Parti (1998) desenvolveu a seguinte análise: se  $n < 1$ ,  $k^*$  diminui durante o processo de secagem, de forma que altos valores de  $k_p$  podem ser utilizados para aproximá-la da equação de Fick nas fases iniciais de secagem sem superestimar os valores preditos nas fases posteriores. Quando  $n = 1$ , a equação se reduz ao modelo de Lewis, aproximando-se da solução da equação da difusividade. Por outro lado,

se  $n > 1$ , menores valores de  $k_p$  podem ser adotados sem subestimar as taxas de secagem no final do processo.

A Tabela 4.1 mostra que os pré-tratamentos com lecitina resultaram nos maiores valores de  $n$ , sendo sempre superiores à unidade, indicando que não houve uma redução na taxa de secagem quando as uvas já continham baixos teores de umidade.

Para esta análise também foi adotado um planejamento fatorial  $2^2$  com ponto central de acordo com a Tabela 3.1. A partir dos resultados obtidos com o secador de resistências elétricas, o tempo de pré-tratamento foi fixado em 2 minutos e a temperatura foi mantida em  $50^\circ\text{C}$ . Simultaneamente, uvas sem nenhum pré-tratamento químico também foram submetidas à secagem, de modo a estabelecer parâmetros de comparação. As uvas utilizadas para este experimento apresentaram umidade de início de  $83,8\%$  (base úmida) e  $14,8^\circ\text{Brix}$ .

A Figura 4.10 mostra as curvas de secagem obtidas para os pré-tratamentos químicos empregados, bem como para a uva *in natura*. Os pontos correspondem aos valores experimentais, enquanto as linhas indicam o ajuste do modelo de Page (equação 2.6) a cada uma das curvas. Da mesma forma que na secagem com resistências elétricas, o modelo de Page superestima a umidade de produto após um determinado tempo de processo – cerca de 200 horas para este caso em particular.



7.1753/24

## 4.2. SECAGEM SOLAR

Foi realizado um experimento de longa duração no secador solar, no período de 23 de setembro a 02 de outubro de 2003, com o objetivo de comparar a cinética de secagem das uvas da variedade Rubi submetidas à pré-tratamentos químicos similares aos utilizados para a secagem no secador de resistências elétricas.

Para este ensaio também foi adotado um planejamento fatorial  $2^2$  com ponto central, de acordo com a Tabela 3.1. A partir dos resultados obtidos com o secador de resistências elétricas, o tempo de pré-tratamento foi fixado em 2 minutos e a temperatura foi mantida em  $50^{\circ}\text{C}$ . Simultaneamente, uvas sem nenhum pré-tratamento químico também foram submetidas à secagem, de modo a estabelecer parâmetros de comparação. As uvas utilizadas para este experimento apresentaram umidade de inicial de 83,8% (base úmida) e 14,8° Brix.

A Figura 4.10 mostra as curvas de secagem obtidas para os pré-tratamentos químicos empregados, bem como para a uva *in natura*. Os pontos correspondem aos valores experimentais, enquanto as linhas indicam o ajuste do modelo de Page (equação 2.6) a cada uma das curvas. Da mesma forma que na secagem com resistências elétricas, o modelo de Page superestima a umidade do produto após um determinado tempo de processo – cerca de 200 horas para este caso em particular.



T. 1453/05



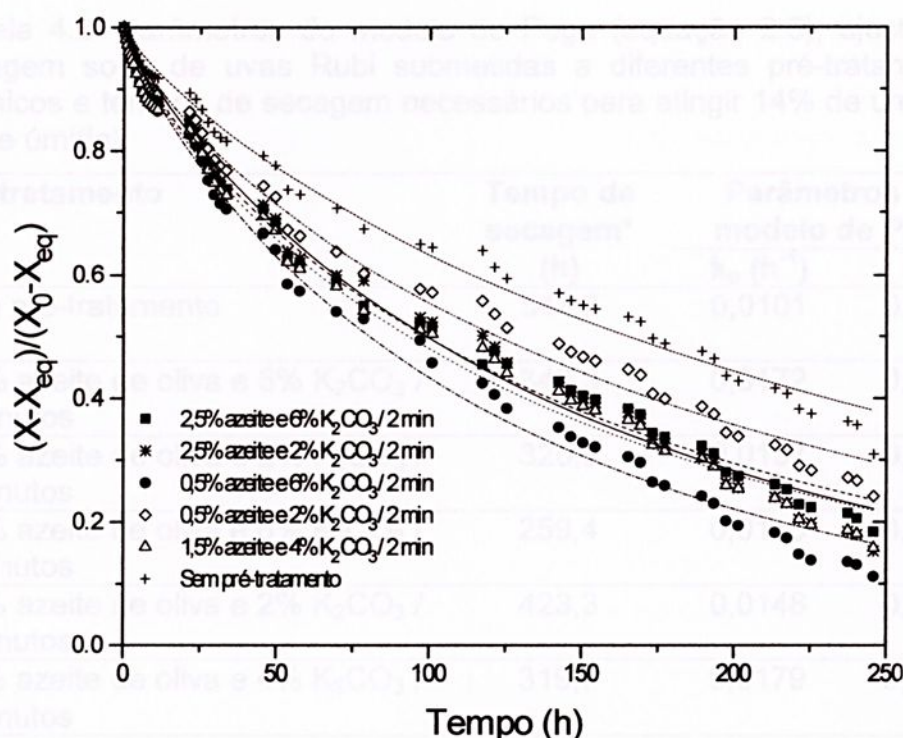


Figura 4.10. Umidade adimensional em função do tempo de uva Rubi submetida aos pré-tratamentos indicados na Tabela 3.1, com tempo de imersão de 2 minutos.

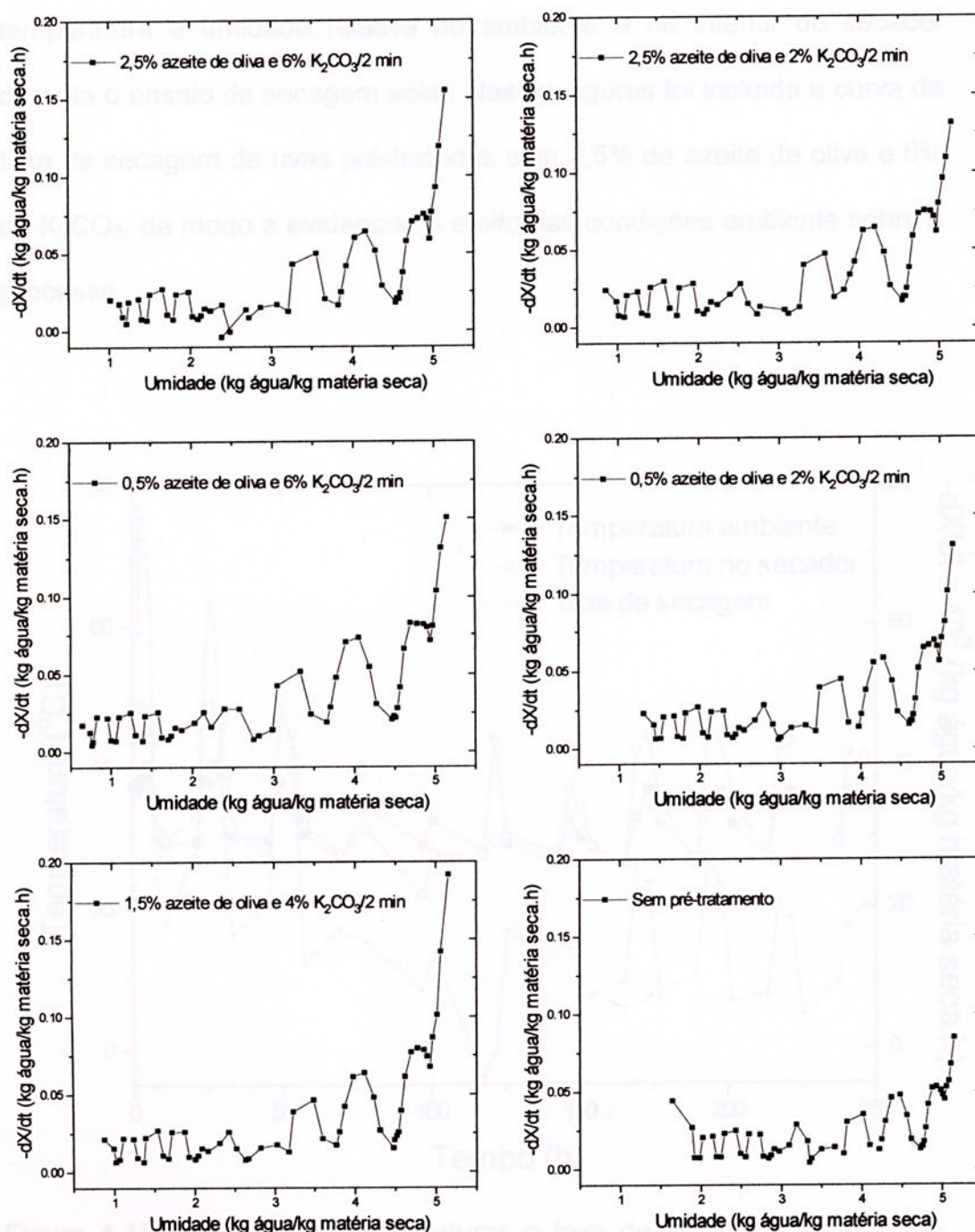
Os parâmetros do modelo de Page para a secagem solar são apresentados na Tabela 4.2, juntamente com o tempo de secagem estimado para atingir a umidade de 14% (base úmida). Observa-se que os tempos de secagem são bem maiores que os obtidos no secador resistivo. Para uvas sem pré-tratamento, seriam necessários cerca de 23 dias, ou cerca de três semanas para a secagem, o que é comparável ao tempo gasto para a secagem pelo método americano, onde os cachos são depositados sobre folhas de papel abertas sobre o solo e expostos diretamente ao sol no próprio vinhedo (Pangavhane e Sawhney, 2002).

Tabela 4.2. Parâmetros do modelo de Page (equação 2.6), ajustado à secagem solar de uvas Rubi submetidas a diferentes pré-tratamentos químicos e tempos de secagem necessários para atingir 14% de umidade (base úmida).

| Pré-tratamento                                     | Tempo de secagem*<br>(h) | Parâmetros do modelo de Page |       |
|----------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------|
|                                                    |                          | $k_p$ ( $h^{-1}$ )           | n     |
| Sem pré-tratamento                                 | 547,2                    | 0,0101                       | 0,829 |
| 2,5% azeite de oliva e 6% $K_2CO_3$ /<br>2 minutos | 343,3                    | 0,0172                       | 0,804 |
| 2,5% azeite de oliva e 2% $K_2CO_3$ /<br>2 minutos | 320,5                    | 0,0137                       | 0,853 |
| 0,5% azeite de oliva e 6% $K_2CO_3$ /<br>2 minutos | 259,4                    | 0,0165                       | 0,852 |
| 0,5% azeite de oliva e 2% $K_2CO_3$ /<br>2 minutos | 423,3                    | 0,0148                       | 0,801 |
| 1,5% azeite de oliva e 4% $K_2CO_3$ /<br>2 minutos | 319,7                    | 0,0179                       | 0,807 |

\*Tempos de secagem estimados pela equação (2.6) usando os parâmetros  $k_p$  e n apresentados na Tabela 4.2, partindo de umidade inicial de 84% (b.u.) e adotando umidade de equilíbrio igual a 1,4% (b.u.).

É interessante notar na Figura 4.10 que, mesmo durante a noite, quando cessa o recebimento de radiação solar, a umidade das amostras sofre uma leve redução, graças à energia armazenada pelas próprias paredes do secador e que é transmitida ao produto nas primeiras horas da noite. A Figura 4.11 apresenta as taxas de secagem para cada um dos pré-tratamentos e aí fica evidente a oscilação das taxas durante os períodos diurno e noturno. No entanto, durante a noite, as taxas de secagem não caem a zero. Esse desempenho poderia ser melhorado caso o secador fosse provido de algum tipo de armazenador de energia solar, como um leito de pedras basálticas, as quais seriam aquecidas durante o dia e liberariam a energia armazenada durante a noite.



As Figuras 4.12 e 4.13 mostram os históricos de temperatura e umidade relativa no ambiente e no interior do secador durante o ensaio de secagem solar. Nessas figuras foi incluída a curva de taxa de secagem de uvas pré-tratadas com 2,5% de azeite de oliva e 6% de  $K_2CO_3$ , de modo a evidenciar o efeito das condições ambiente sobre o processo.

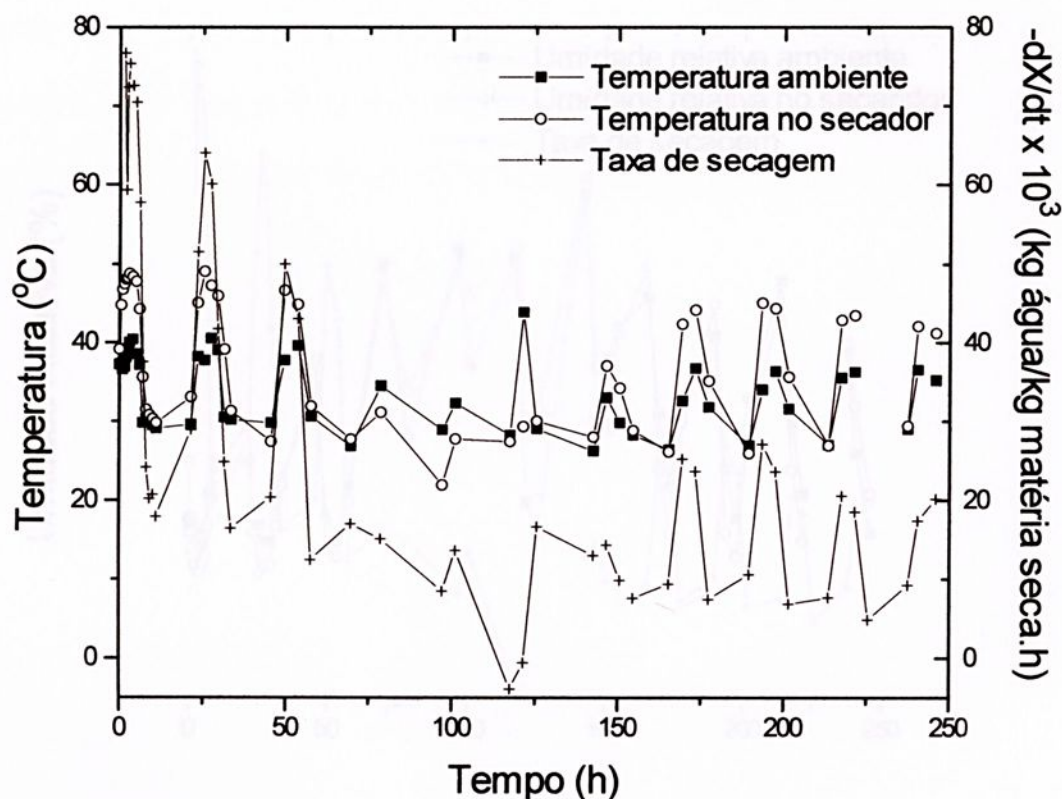


Figura 4.12. Histórico de temperaturas e taxa de secagem da uva pré-tratada com 2,5% de azeite de oliva e 6% de  $K_2CO_3$  em função do tempo durante a secagem de uva Rubi em secador solar.

Na Figura 4.12, observa-se que as máximas temperaturas de secagem foram de 45°C, obtidas nos primeiros três dias de secagem. Em seguida, houve um período de baixas temperaturas e alta umidade relativa (Figura 4.13), causando uma forte redução na taxa de secagem. Após esse período desfavorável, a temperatura voltou a subir, porém não voltou a atingir os 45°C.

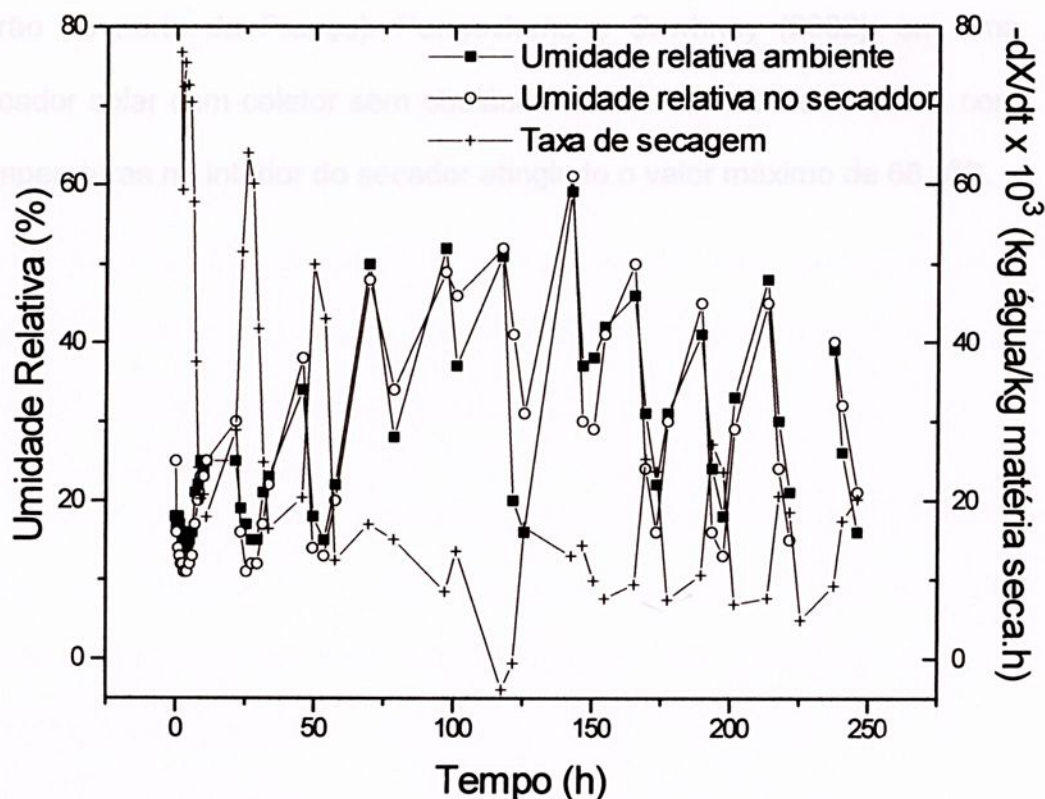


Figura 4.13. Histórico de umidades relativas e taxa de secagem da uva pré-tratada com 2,5% de azeite de oliva e 6% de  $K_2CO_3$  em função do tempo durante a secagem de uva Rubi em secador solar.

Essa dependência de fatores externos é o ponto fraco do secador solar, compensada pelo custo energético nulo. Ainda assim, deve-se considerar que existem possibilidades de melhoria na performance do secador solar, como o uso de obstáculos para o escoamento do ar através do coletor solar, aumentando o seu tempo de residência e favorecendo a transferência de calor, como evidenciado pelo trabalho de Abene et al. (2004), que conseguiram temperaturas de até  $71^{\circ}\text{C}$  no interior do secador solar (ao redor das doze horas de um dia de verão no norte da França). Pangavhane e Sawhney (2002), em um secador solar com coletor sem obstáculos secaram uvas em 4 dias, com temperaturas no interior do secador atingindo o valor máximo de  $68,3^{\circ}\text{C}$ .

acordo de oliveira e 0,5% de carbonato de cálcio com duração de 2 minutos, resultando em um tempo de secagem significativamente menor (de 2,5% de redução) em relação ao controle.

2) O uso da farinha de soja para o pré-tratamento de uvas, com o objetivo de reduzir o tempo de secagem mostrou-se viável, sendo a duração do pré-tratamento um fator de maior relevância do que a própria concentração da farinha.

3) O modelo de Page pôde ser aplicado de modo satisfatório às curvas de secagem, porém mostrou-se um pouco superestimado no final da secagem.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos conduziu às seguintes conclusões:

1) Considerando os pré-tratamentos químicos a base de azeite de oliva e carbonato de potássio, pode-se concluir que o aumento da concentração de azeite de oliva de 0,5 para 2,5% não levou a uma redução significativa do tempo de secagem, tendo sido mais importante garantir que o tempo de imersão fosse suficiente para permitir a ação das substâncias ativas. Assim, o tratamento mais adequado foi o de 0,5% de azeite de oliva e 6% de carbonato de potássio com duração de 2 minutos, que resultou em um tempo de secagem praticamente igual ao de 2,5% de azeite, mas com maior economia deste composto.

2) O uso da lecitina de soja para o pré-tratamento de uvas, com o objetivo de reduzir o tempo de secagem mostrou-se viável, sendo a duração do pré-tratamento um fator de maior relevância do que a própria concentração de lecitina.

3) O modelo de Page pôde ser ajustado de modo satisfatório às curvas de secagem, porém resultou em umidades superestimadas na fase final da secagem.



4) Os pré-tratamentos à base de lecitina não causaram uma redução tão brusca das taxas de secagem em baixos conteúdos de umidade quanto os pré-tratamentos a base de azeite de oliva e carbonato de potássio. Essa redução foi ainda mais acentuada quando a concentração de azeite foi aumentada de 0,5 para 2,5%.

5) A secagem solar mostrou-se um processo viável de obtenção de passas a partir de uvas da variedade Rubi, desde que seja aplicado um pré-tratamento químico adequado.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Estudar os mecanismos de ação da lecitina sobre a película cerosa da casca da uva, através de experimentos de microscopia e medidas de permeabilidade ao vapor de água.
- 2) Verificar a possibilidade de aumentar a duração dos pré-tratamentos químicos, principalmente no caso da lecitina. No caso de se utilizar o carbonato de potássio, aumentar a duração do pré-tratamento só seria possível às custas de diminuir a concentração desse agente, de modo a evitar fissuras na casca da uva.
- 3) Testar modificações na configuração do secador solar, principalmente no coletor solar, buscando aumentar o aproveitamento da radiação solar. Isso seria possível pelo uso de obstáculos ao escoamento do ar e pelo uso de um material armazenador de energia térmica.
- 4) Realizar uma avaliação sensorial das passas obtidas com os diferentes pré-tratamentos químicos e nos diferentes secadores utilizados.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENE, A., DUBOIS, V., LE RAY, M., OUAGUED, A. Study of a solar air flat plate collector: use of obstacles and application for the drying of grape. Journal of Food Engineering, 65(1), 15-22, 2004.
- ALMEIDA, G.V.B. Mercado interno: a uva no contexto do mercado de frutas. Anais do X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia, 161-165, 2003. Disponível em <http://www.cnpuv.embrapa.br/produtos/publicacoes/anais>>. Acesso em: 01 jun. 2004.
- AZZOUZ, S., GUIZANI, A., JOMAA, W., BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. Journal of Food Engineering, 55, 323-330, 2002.
- BARNETT, D. Dried grapes – The involvement of lipids in their production. CSIRO Food Research Quarterly, 40(1), 16-22, 1980.
- BELITZ, H.D., GROSH, W. Química de los Alimentos, Editorial Acribia S.A., p.644, 1985.
- BOLIN, H.R., STAFFORD, A.E. Fatty acid esters and carbonates in grape drying. Journal of Food Science, 45(3), 754-755, 1980.
- CAMARGO, U.A. Melhoramento genético: variedades de uvas sem sementes para o Brasil. Anais do X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia, 171- 172, 2003. Disponível em <http://www.cnpuv.embrapa.br/produtos/publicacoes/anais>>. Acesso em: 01 jun. 2004.
- CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: Advances in drying, ed. Arum S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation, Washington. p.73-102, 1983.
- CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. Pergamon Press, Oxford, 1975
- DAUDIN, J.D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. Sciences des Aliments, 3(1), 1-36, 1983.
- DI MATTEO, M, CINQUANTA, L., GALIERO, G., CRESCITELLI, S. Effect of a novel physical pretreatment process on the drying kinetics of seedless grapes. Journal of Food Engineering, 46, 83-89, 2000.
- DIAMANTE, L.M., MUNRO, P.A. Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. International Journal of Food Science and Technology, 26(1), 99-109, 1991.

- DOYMAZ, I, PALA, M. The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes. Journal of Food Engineering, 52, 413-417, 2002.
- DOYMAZ, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums. Journal of Food Engineering, 64, 465-470, 2004.
- FEMENIA, A., SANCHEZ, E.S., SIMAL, S., ROSSELLO, C. Effects of drying pretreatments on the cell wall composition of grape tissues. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46(1), 271-276, 1998.
- FOHR, J.P., ARNAUD, G. Grape drying: from sample behavior to the drier project. Drying Technology, 10(2), 445-455, 1992.
- GABAS, A.L. Secagem de Uva Itália em Leito Fixo, Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, 137p, 1998.
- GABAS, A.L., MENEGALLI, F.C., TELIS-ROMERO, J. Effect of chemical pretreatment on the physical properties of dehydrated grapes. Drying Technology, 17(6), 1215-1226, 1999.
- GABAS, A.L., TELIS-ROMERO, J., MENEGALLI, F.C. Permeabilidade da casca de uva Itália. Brazilian Journal of Food Technology, 1(1,2), 90-96, 1998.
- GRNCAREVIC, M, LEWIS, W.J. Drying of grapes in Australia. Food Technology in Australia, 28(2), 66-67, 69-71, 1976.
- HAWLADER, M.N.A.; UDDIN, M.S., HO, A.B.; TENG, A.B.W. Drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering, 14, 259-268, 1991.
- KARATHANOS, V.T., BELESSIOTIS, V.G. Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. Journal of Food Engineering, 31, 35-46, 1997.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal of Food Engineering, 29, 75-97, 1996.
- MARK'S FRUIT CROPS HOMEPAGE, Grapes – *Vitis spp.*, Disponível em <<http://www.uga.edu/fruit/grape.htm>>. Acesso em: 01 jun. 2004.
- MISRA, M.K., BROOKER, D.B. Thin layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. Transactions of the ASAE, 23(5), 1254-1260, 1980.



MURARI, R.C.B.D.L. Cinética de desidratação osmo-convectiva de tomate. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2001.

NACHTIGAL, J.C. Avanços tecnológicos na produção de uvas de mesa. Anais do X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia, 167- 170, 2003. Disponível em <http://www.cnpuv.embrapa.br/produtos/publicacoes/anais>>. Acesso em: 01 jun. 2004.

NICOLETI, J., TELIS-ROMERO, J., TELIS, V.R.N. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. Drying Technology, 19(9), 2175-2191, 2001.

PAHLAVANZADEH, H., BASIRI, A., ZARRABI, M. Determination of parameters and pretreatment solution for grape drying. Drying Technology, 19(1), 217-226, 2001.

PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modelling of black tea drying process. Journal of Food Engineering, 52, 349-357, 2002.

PANGAVHANE, D.R., SAWHNEY, R.L. Review of research and development work on solar dryers for grape drying. Energy Conversion and Management, 43, 45-61, 2002.

PANGAVHANE, D.R., SAWHNEY, R.L., SARSAVADIA, P.N. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes. Journal of Food Engineering, 30, 211-216, 1999.

PARTI, M. Evaluation of diffusion based drying models: their bases and limitations. Hungarian Journal of Industrial Chemistry Vezprém, 26, 221-228, 1998.

PONTING, J.D., MCBEAN, D.M. Temperature and dipping treatment effects on drying rates and drying times of grapes, prunes and other waxy fruits. Food Technology, 24, 1403-1406, 1970.

RAMOS, I.N., SILVA, C.L.M., SERENO, A.M., AGUILERA, J.M. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. Journal of Food Engineering, 62, 159-164, 2004.

TOĞRUL, I.T., PEHLIVAN, D. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying processes. Journal of Food Engineering, 65(3), 413-425, 2004.

VAZQUEZ, G. CHENLO, F., MOREIRA, R., CARVALHO, L. Desorption isotherms of *muscatel* and *aledo* grapes, and the influence of pretreatments on muscatel isotherms. Journal of Food Engineering, 39, 409-414, 1999.

YALDIZ, O., ERTEKÝN, C., UZUN, H.I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy, 26(5), 457-465, 2001.

YALDÝZ, O., ERTEKÝN, C. Thin layer solar drying of some vegetables. Drying Technology, 19(3,4), 583-597, 2001.



